

ArchE – Entwicklung einer datenbankunterstützten
Architektur–Entwurfsumgebung
Ein Anforderungsbericht

L. Hovestadt⁺, V. Hovestadt⁺, J. A. Mülle⁺⁺, R. Sturm⁺⁺

November 1994

*+ Institut für Industrielle Bauproduktion und
++ Institut für Programmstrukturen und Datenorganisation
Universität Karlsruhe
D–76128 Karlsruhe
e-mail: {muelle, sturm}@ira.uka.de
volkmar@ifib1.ifib.uni – karlsruhe.de*

*Interner Bericht Nr.23/94, Fakultät für Informatik
Universität Karlsruhe*

Zusammenfassung

Eine Datenbankunterstützung des integrierten architektonischen Entwurfes stellt mannigfaltige Anforderungen, die von heutigen Datenbanksystemen nicht erfüllt werden können. Dieser Bericht hat zum Ziel, den allgemeinen architektonischen Planungsprozeß und speziell eine neuartige Entwurfsmethodik, die auf einem mehrdimensionalen Entwurfsraum, dem sogenannten A4-Raum basiert, zu beschreiben und hieraus die Anforderungen an die Funktionalität und die grundlegenden Konzepte einer Datenbankunterstützung für den Gebäudeentwurfsbereich abzuleiten.

Abstract

Computer-aided architectural design (CAAD) poses a number of novel challenges to database systems. To identify these, this report starts with a characterization of the architectural design process in general, and a new design method on the basis of a multi-dimensional design space, the so-called A4-space in particular. It continues with an analysis of the requirements for the functionality and the basic concepts of a suitable database support for building design.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Das Bauen	3
2.1	Moderne Bauplanung	3
2.2	Die heutige Arbeitsweise	4
2.3	Bisheriger Computereinsatz	5
2.4	Projekthintergrund	5
3	Der Entwurfsprozeß	6
3.1	Nichtlinearität	6
3.2	Individualität	6
3.3	Vielschichtigkeit	6
3.4	Informationsmaterialien zum Entwurf	7
4	Grundlage einer Computerunterstützung : Der A4–Raum	8
4.1	These des A4–Modells	9
4.2	Der vieldimensionale Designraum	9
4.3	A4–Entwurfsentscheidung	9
4.3.1	Die <i>geometrischen</i> Dimensionen	10
4.3.2	Die Dimension <i>Zeit</i>	10
4.3.3	Die Dimension <i>Größenordnung</i>	10
4.3.4	Die Dimension <i>Auflösung</i>	11
4.3.5	Die Dimension <i>Teilsysteme</i>	12
4.3.6	Die Dimension <i>Morphologie</i>	12
4.3.7	Die Dimension <i>Alternativen</i>	13
4.3.8	Die Dimension <i>User</i>	13
4.3.9	Die Dimension <i>Timetag</i>	13
4.3.10	Die Dimension <i>Komposition</i>	13
4.4	Zusatzinformationen im A4–Raum	14
4.5	Ausschnitt einer Beispielplanung im A4–Raum	14
4.6	Positionen, Nachbarschaften und Kollisionen im A4–Raum	17
4.7	Bewegung im A4–Raum	17
4.8	Kommunikation im A4–Raum	18
4.9	Constraints im A4–Raum	18
5	Die graphische Benutzeroberfläche	19
6	Grundlagen der Wissensverarbeitung im Entwurfsprozeß	23
6.1	Wissensarten	23
6.2	Wissensakquisition	24
6.3	Problemlösungsverfahren	25
6.4	Wissensrepräsentation	25
7	Schematische Systemarchitektur	25

8	Anforderungen an die Datenbank	26
8.1	Entwurfsablauf	26
8.2	Modellierung	27
8.3	Navigation	27
8.3.1	Navigationsarten	27
8.3.2	Benötigte Funktionen	27
8.3.3	Situation	28
8.3.4	Navigatorobjekt	28
8.4	Alternativen	28
8.5	Historie	28
8.6	Integration der Fachplaner	28
8.7	Transaktionskonzept und Kooperation	29
8.8	Constraints	29
8.9	Unterschiedliche Begriffswelten	31
9	Zusammenfassung und Ausblick	32

1 Einleitung

Gegenstand des Projektes ArchE¹ (Entwicklung einer *Architektur-Entwurfsumgebung*) ist die weitgehende Computerunterstützung des architektonischen Entwurfsprozesses und die Integration von Fachplanern auf einer gemeinsamen Datenbasis. Schwerpunkte sind dabei die integrierte konsistente Datenverwaltung als methodische Grundlage der Integration von Fachplanern, darauf basierende Methoden für deren Integration und die Untersuchung geeigneter graphischer Oberflächen. Dabei muß sich die Arbeit im Vorfeld insbesondere mit den Eigenarten des architektonischen Entwurfsprozesses auseinandersetzen. Durch seine Nichtlinearität, Individualität und Vielschichtigkeit widersetzt er sich, im Gegensatz zu vergleichbaren Aufgabenbereichen z.B. aus dem Maschinenbau, besonders in den ersten Stadien der Planung weitgehend herkömmlichen Integrationsansätzen.

Dies ist der Hindergrund für die am Institut für Industrielle Bauproduktion (IFIB) entwickelte Idee, alle den Entwurf begleitenden Daten in einem mehrdimensionalen Datenraum, dem sogenannten A4-Raum, in einer allgemeinen, minimal formalisierenden Form abzulegen und so für alle Beteiligten verfügbar zu machen. Dieses Konzept einer minimalen Formalisierung der Planungsdaten soll es ermöglichen, den Planungsprozeß möglichst weitgehend zu unterstützen, gleichzeitig ihn aber in seiner Kreativität möglichst wenig zu behindern sondern gerade zu fördern.

Das den Entwurfsprozeß unterstützende Instrument im Projekt ArchE soll aus einer Planungs-, einer Navigations- und einer Datenhaltungskomponente bestehen. Die Planungskomponente wird dabei die Erzeugung von Entwurfsdaten und ihre Ablage im mehrdimensionalen Datenraum ermöglichen, die Navigationskomponente die Bewegung durch den Datenraum und den Zugang zu den in ihm gespeicherten Daten gewährleisten und die Datenhaltungskomponente die konsistente und persistente Ablage der Daten bewerkstelligen.

Dieser Bericht ist wie folgt aufgebaut: Zuerst wird auf die Charakteristika des architektonischen Entwurfsprozesses und seine besonderen Charakteristika eingegangen. Danach wird das für das Projekt grundlegende Modell des mehrdimensionalen Designraumes (dem A4-Raum) detailliert beschrieben. Ergänzt wird die Beschreibung durch die konkret notwendigen Attribute und das Zusatzwissen, um den Bauprozeß sinnvoll unterstützen zu können und außerdem eine Integration von Fachplanern zu erlauben. Es folgen Konzepte für die graphische Benutzeroberfläche und Modelle möglicher Formen der Wissensverarbeitung. Anschließend werden von der Datenbankseite her die verschiedenen Aspekte des architektonischen Entwurfsprozesses betrachtet, in eine Anforderungsanalyse umgesetzt und das konzeptuelle Datenbank-Schema für den A4-Raum sowie ein erstes Schema für den funktionalen Entwurf entwickelt.

2 Das Bauen

2.1 Moderne Bauplanung

Die Situation in der Architektur und die Anforderungen, die sich aus ihr ergeben, ist vielfältigen Denkschulen unterworfen und deshalb einer einheitlichen Betrachtung schwer zugänglich. Wir wollen daher die Betrachtungen auf eine Sicht der Architektur beschränken, die durch die Architekturauffassung von Fritz Haller stark beeinflußt ist, der mit seiner Vision von wandelbaren, dynamischen Gebäuden in den sechziger Jahren verschiedene Gebäudebaukästen (System MIDI) entwickelte [1]. Dieserart geplante Gebäude sind überwiegend Zweckbauten, an deren technische Ausstattung sich hohe Anforderungen bezüglich ihrer Wandelbarkeit stellen. Als Reaktion hier-

¹Das Projekt wird im Rahmen des DFG-Vorhabens "Datenbankunterstützte Koordinierung und Integration von Planungswerkzeugen im Baubereich" gefördert

auf wurde das allgemeine Installationsmodell Armilla entwickelt, eine Planungsmethodik für die räumliche Koordinierung und den kooperierenden Entwurf der technischen Ausrüstung komplexer Gebäude [9]. Diese Planungsmethodik wird seit 1985 im Architekturbüro von Prof. Fritz Haller in der Praxis eingesetzt.

Innerhalb der Bauplanung ist neuerdings eine starke Schwerpunktverlagerung feststellbar. Bei sinkendem Bauvolumen wächst der Anteil für Umbau, Sanierung und Bauerhaltung zuungunsten des Neubaus. Diese Strukturänderungen im Bauwesen ziehen Änderungen im Leistungsbild der Planung nach sich: Der Schwerpunkt verschiebt sich eindeutig von der Neuplanung hin zur Nutzungsplanung, Instandhaltungsplanung, Instandsetzung und wirtschaftlichen Verwertung von Gebäuden. Dafür haben sich die Begriffe Objekt-Management, Projekt-Management oder Facility-Management eingebürgert [20, 15, 16]. Neben der Schwerpunktverlagerung unterliegt das Bauen einer starken Spezialisierung, Diversifizierung und Dynamisierung:

- Die steigende Komplexität der Bauteile geht einher mit einer steigenden Menge von Bauteilen verschiedenster Art, die in einem Gebäude verwendet werden.
- Die zunehmende Internationalisierung der Bauprozesse erhöht seine Komplexität, die Anzahl der beteiligten Firmen und verwendeten Produkte. Es ergeben sich erhöhte Anforderungen an eine Normierung, also die Kompatibilität der Bauleistungen und Bauprodukte, sowie die Kommunikation zwischen den am Bau Beteiligten.
- Der Umfang von Normen, Standards und Prüfverfahren steigt kontinuierlich mit der Zahl der Bauaufgaben, Baumaterialien und Bautechniken. Ein gutes Beispiel sind die gestiegenen Anforderungen an einen möglichst geringen Energieverbrauch, die nur mit erheblichem technischen, strukturellen, planerischen und organisatorischen Aufwand zu erreichen sind [19].
- In direktem Zusammenhang damit steht die Zunahme der am Bauprozeß beteiligten Personen. Gab es noch vor 150 Jahren einen Baumeister, der tatsächlich den gesamten Bauprozeß koordinierend überblicken konnte, so spalteten sich zunächst die Bauingenieure und mit der Zeit immer mehr Spezialisten ab, so daß heute nicht selten 20 Ingenieure verschiedener Fachrichtungen am Bauprozeß beteiligt sind und nur aufwendig eine gemeinsame Planung formulieren können.

Mit der Diversifizierung und Spezialisierung der Baukomponenten steigt auch die Anzahl der Phasen im Lebenszyklus. Während Anfang des Jahrhunderts noch von einer durchschnittlichen Erneuerungsrate von 30–50 Jahren ausgegangen werden konnte, müssen heute wesentliche Komponenten eines Gebäudes bereits nach bedeutend kürzerer Zeit ausgetauscht werden. Für die Installationen rechnet man im allgemeinen dabei mit einem Erneuerungszyklus von 15 Jahren, beim Innenausbau mit 5 - 7 Jahren, bei der Arbeitsplatzausstattung mit 3 Jahren und bei der Anordnung der Ausstattung selbst sogar mit einer fast täglichen Veränderung. Lediglich der Rohbau ist mit rund 50 Jahren relativ zeitstabil [5, 18, 23, 17].

2.2 Die heutige Arbeitsweise

Die heutige Arbeitsweise in der Bauplanung läßt sich gut anhand der in der Honorarordnung für Architekten (HOAI) [2] festgelegten Phasen beschreiben:

Man unterscheidet Grundlagenermittlung, Vorplanung, Entwurfsplanung, Genehmigungsplanung, Ausführungsplanung, Vergabe, Bauausführung und Objektbetreuung mit Dokumentation. Jeder Spezialist (Haustechnikingenieur, Bauphysiker, Akustiker, Lichttechniker etc.) führt – meist unter der Leitung des Architekten als Treuhänder des Bauherrn und Gesamtkoordinator

– zum gegebenen Zeitpunkt die von ihm verlangten Planungsschritte aus, ohne allzusehr auf die Belange der anderen Gewerke Rücksicht zu nehmen. Dieser vor allen Dingen in handwerklichen Traditionen begründeten Arbeitsweise stellen sich neue Anforderungen entgegen. So kommen neuerdings Ideen von alternativen Arbeitskonzepten auf, z.B. der sogenannten "integralen Planung" [22]: Statt die einzelnen Gewerke isoliert zu planen und nur deren Ergebnisse aufeinander abzustimmen, wird versucht durch interdisziplinäre Planungsteams das Gesamtgebäude zu optimieren. Erste Erfahrungen werden derzeit besonders in England, Holland und der Schweiz gemacht. Jedoch besteht noch immer eine große Lücke zwischen Theorie und Praxis. Besonders in Deutschland erschweren die historisch gewachsenen Organisationsstrukturen des Baugewerbes ein paralleles, gemeinsames Arbeiten der Gewerke erheblich.

2.3 Bisheriger Computereinsatz

Es gibt eine große Menge leistungsfähiger, aber spezialisierter und voneinander isolierter Software für die verschiedensten Bereiche des Bauens (CAD, Ausschreibungsprogramme AVA, Kosten- und Energiesimulationsprogramme, Statikprogramme etc.) [13, 14]. Außerdem gibt es verschiedene Bemühungen im Umfeld integrierter Gebäudemodelle mit dem Ziel, eine gemeinsame Datenplattform für die verschiedenen Applikationen [20, 3, 4, 21] zu schaffen. Sie basieren, je nachdem ob es Projekte aus der Praxis oder der Forschung sind, auf relationalen Datenbanken, auf objektorientierten Datenbanken oder Blackboard-Systemen. Sie haben alle das Problem, Informationen in großer Menge und großer Komplexität behandeln zu müssen. Gleichzeitig hat ein Nutzer mit den heute üblichen Browsern und Editoren keine wirkungsvolle interaktive Kontrolle über die komplexen Strukturen. Dies ist ein Grund, warum sich herkömmliche integrierte Gebäudemodelle auf das Facility Management, Building Performance oder die Kostenkontrolle konzentrieren. Sie bewegen sich damit auf der sicheren Plattform existierender Gebäude. Für das Gebäudedesign sind aber flexiblere Strukturen und Werkzeuge erforderlich.

2.4 Projekthintergrund

Das vorliegende Projekt versucht einen weiteren Schritt in Richtung integrale Planung zu gehen und zu den gerade geforderten flexibleren Strukturen und Werkzeugen beizutragen.

Hintergrund unseres Projektes ist eine ganzheitliche Betrachtungsweise der Architektur. Sie umfaßt neben dem Entwurf und der Erstellung von Gebäuden, deren Betrieb, d.h. die Steuerung, Verwaltung und den Umbau, sowie deren Demontage, also ihren gesamten Lebenszyklus. Auch wenn wir im vorliegenden Projekt im Schwerpunkt nur die ersten Phasen des architektonischen Entwurfes vor dem Hintergrund des Gebäudebaukastens MIDI und Armilla unmittelbar unterstützen können, so bleibt doch die weitestgehende Computerunterstützung des gesamten Bauprozesses in der Konzeption des Projektes unser Fernziel.

3 Der Entwurfsprozeß

Flexible Rechnerunterstützung bedarf stets der Erstellung von Modellen für die zu unterstützen Prozesse. Diese müssen notwendig von Details abstrahieren. Im folgenden soll daher versucht werden, den architektonischen Entwurfsprozess durch drei Begriffe möglichst weitgehend zu beschreiben, durch die Begriffe der Nichtlinearität, Individualität und Vielschichtigkeit. Alle drei werden durch externe Informationen beeinflusst, auf die wir am Ende des Kapitels eingehen.

3.1 Nichtlinearität

Unter Nichtlinearität im architektonischen Planungsprozeß verstehen wir die jedem Designprozeß eigentümliche Unbestimmbarkeit und Nichtvorhersagbarkeit des Planungsablaufes. Dieses ergibt sich durch die unterschiedlichen, individuellen, planerspezifischen Heran- und Vorgehensweisen an den Entwurf und das kreative, assoziative "Driften" von einer Planungsidee zur nächsten.

Unterschiedliche Detaillierungsstufen gibt es dabei in allen Phasen des Entwurfs. Eine geometrisch vage Skizze kann schon ein festgefügtes Funktionskonzept besitzen, umgekehrt kann ein festgefügtter geometrischer Raum ein noch vages Funktionskonzept haben. Inkonsistenzen zwischen den einzelnen Entwurfsentscheidungen sind dabei eher die Regel als eine Ausnahme. Dennoch, trotz aller Nichtvorhersagbarkeit des Planungsergebnisses und des Lösungsweges, ist doch eine allgemeine Tendenz vom Groben zum Feinen, von der vagen Skizze zur detaillierten Ausführungsplanung feststellbar. Diese Tendenz kann über sogenannte Meilensteine, wie etwa den Phasen der HOAI, beschrieben werden.

3.2 Individualität

Die Rahmenbedingungen des architektonischen Planungsprozesses sind im Gegensatz z.B. zum Anlagen- und Maschinenbau nicht Serienproduktion unter klinischen Bedingungen, sondern One-of-a-kind-Produktionen von prototypischen Gebäuden. Es handelt sich in der Regel um eine von der Planung bis zur Ausführung räumlich, zeitlich und inhaltlich individuelle Aufgabe. Lösungen lassen sich daher nur schwer von einem Entwurf auf den anderen übertragen. Sie sind zudem in der Regel nur schwer beschreibbar. Beschreibungen geben daher das eingeflossene Wissen und die berücksichtigten Randbedingungen nur unvollkommen wieder und sind damit meist nur beschränkt brauchbar. Die größte Schwierigkeit liegt in der schwer formal faßbaren Erfahrung des Planers, die zu der betreffenden Lösung geführt hat und im entscheidenden Maße ihre Individualität bestimmt.

3.3 Vielschichtigkeit

Unter Vielschichtigkeit im architektonischen Planungsprozeß verstehen wir folgendes:

- Die verschiedenen gleichzeitigen Sichten der am architektonischen Entwurf Beteiligten auf den Planungsgegenstand.

Architekt, Statiker, Klimaingenieur, Bauherr, Baubehörde, usw., die den Entwurfsprozeß begleiten und an den unterschiedlichen Phasen beteiligt sind, werden den Entwurf und die damit verbundenen Daten stets mit eigenen Augen betrachten. Dieses beinhaltet eine eigene Arbeitssprache (Graphik, Semantik), eigene Vorschriften und eigene Prioritäten bezüglich des Designs. Die verschiedenen Blickwinkel aller am Entwurf Beteiligten können als parallele Designwelten bezeichnet werden.

- Die verschiedenen Maßstabebenen der Planung.

Sie umfassen ein Spektrum vom Städtebau im Maßstab 1:1000 bis zum konstruktiven Detail im Maßstab 1:1. Die Maßstabsebenen beschreiben die verschiedenen inhaltlichen Beschreibungsebenen des Entwurfs. Der Städtebauplan beschreibt die städtebaurelevanten Einzelheiten. Er betrachtet damit naturgemäß einen größeren Ausschnitt als die Ausführungsplanung, die dafür in einem kleineren Ausschnitt den konstruktiven Zusammenhang detailliert. Die Anzahl der beschriebenen Teile und damit die Komplexität ist in der Regel auf jeder Maßstabsebene vergleichbar.

- Die verschiedenen Genauigkeiten der Planung.

Sie erstrecken sich von der vagen Skizze bis zur definierten Ausführungsplanung. Auf allen Maßstabsebenen kann die dargestellte Information von vage bis exakt reichen. Die Genauigkeit kann sich also auch auf ein und derselben Maßstabsebene mischen. Als Beispiel gibt es sowohl auf der Ebene des Städtebaus als auch auf der des konstruktiven Details unterschiedliche Genauigkeiten. Im ersten Fall reicht die Spanne von städtebaulichen Skizzen bis hin zu exakten Baulinien und Baugrenzen, im zweiten Fall reicht sie von konstruktiven Detailskizzen bis hin zu Ausführungsanweisungen mit den exakten Bauteilabmessungen.

- Die verschiedenen Bearbeitungsstufen und Varianten ein- und desselben Planers bzw. mehrerer Planer.

In der Regel bearbeitet der Planer mehrere Alternativen gleichzeitig. Die Alternativen werden bis zu einem bestimmten Punkt parallel weiterverfolgt und protokolliert, um dann in ihrem gegenseitigen Vergleich Aussagen über ihre Qualität machen zu können und sich für einen Weg zu entscheiden. Die Alternativen spannen einen Entscheidungsbaum auf. Der Planer navigiert ständig in diesem Entscheidungsbaum, nimmt Entscheidungen bis zu einem bestimmten Knoten zurück und verfolgt dann andere Äste.

3.4 Informationsmaterialien zum Entwurf

Neben den ersten Anforderungen zum Entwurf, wie z.B. den Vorgaben durch den Bauherrn in Form von Raumbüchern, oder den Vorgaben durch den Bauplatz, wie z.B. die Tragfähigkeit des Untergrundes, die Höhe des Grundwasserspiegels oder das architektonische Umfeld, gibt es eine Vielzahl von Informationen unterschiedlichster Art, die den Entscheidungsspielraum des Architekten einschränken. Diese beziehen sich zum einen auf amtliche Gesetze und Normen, wie Bundesbaugesetze, Landesbauordnungen, Bebauungspläne, Gestaltungssatzungen oder DIN-Vorschriften, zum anderen auf Bauteilkataloge und auf allgemeine Veröffentlichungen in Zeitschriften und Büchern. Weitere Informationen, die in nicht unerheblichem Maße in einen neuen Entwurf einfließen, sind das Erfahrungswissen des Planers und der kulturelle Kontext, in dem der Entwurf entsteht.

Gesetze und Normen: Das Bauwesen ist zur Zeit noch vom Bund und den Ländern mit Gesetzen, etwa dem Bundesbaugesetz oder den Landesbauordnungen, geregelt. Sie bestimmen Sachverhalte wie Fluchtwege, Feuerwiderstandsklassen, Kostenabrechnung oder die Mindestraumgrößen für den sozialen Wohnungsbau. Viele dieser Gesetze werden in Zukunft im Zuge einer Europäisierung und Internationalisierung des Rechts durch entsprechende europäische und internationale Varianten ersetzt werden. Normen, wie etwa die DIN-Normen, beschreiben Bauteile, Bauteilgruppen oder ganze Gewerke. Sie sind in der Regel, wenn sie nicht explizit vorgeschrieben sind, freiwillige Arbeitsanweisungen für die Planung und Ausführung. Normen beschreiben gut den derzeitigen Stand der Technik und sind eine verhältnismäßig sichere Basis für die Planung gerade in einem Bereich wie der Bauplanung, in dem Konstruktionen nach dem allgemeinen Stand der Bautechnik vorgeschrieben sind.

Bebauungspläne und Gestaltungssatzungen: Die Bebauungspläne oder Flächennutzungspläne sind Planungen der Städte und Gemeinden, die Gesetzescharakter haben. Sie beschreiben die Nutzung und räumliche Anordnung und Orientierung von Flächen und Baukörpern. Das Instrumentarium sind z.B. Nutzungsvorschriften, Straßen, Wege, Baulinien, Baugrenzen, die überbaubare Fläche, die gesamte Geschoßfläche, die Ausrichtung und Art des Daches, die Dachneigung oder auch die Anzahl der Geschosse. Gestaltungssatzungen werden von den Gemeinden erlassen und gehen noch viel weiter. Sie schreiben Farben, Materialien, Fensterarten oder Fenstergrößen vor. Jedes Gebäude muß vom zuständigen Stadtplanungsamt vor dem Hintergrund der Bebauungspläne und Gestaltungssatzungen genehmigt werden.

Bauteilkataloge, Bücher und Zeitschriften: Bauteilkataloge werden in der Regel von den Herstellern herausgegeben. Sie dienen der genauen Spezifikation der Bauteile, beinhalten Hinweise für deren Verwendung, ihre Zusammensetzung oder etwa die Art der Montage. Neben den Kenndaten werden die Bauteile oft in einem bildlichen Zusammenhang illustriert. Der Wert gerade dieser bildlichen, schwer faßbaren Information für den Entwurfsprozeß darf nicht unterschätzt werden.

Das gleiche gilt für alle Publikationen in Form von Büchern oder Zeitschriften. In der Regel wird Entwurfswissen vermittelt, welches nicht objektiv meßbar ist, sondern allein durch die Erfahrung des Architekten erschlossen werden kann. Diese Formen der Wissensrepräsentation oder auch nur Teile davon können als grundsätzliche Lösungsfälle in die Planung mit einfließen.

Erfahrungswissen: Ein Architekt ist sich meistens gar nicht bewußt, welches Erfahrungswissen mit in einen neuen Entwurf einfließt. Es entsteht auf natürliche Weise mit der Anzahl der Projekte, ist daher stark individuell und läßt sich nur schwer übertragen. Es ist für Außenstehende kaum faßbar oder formulierbar.

Kultureller Kontext: Alle Entscheidungen des Planers sind stark kulturell bestimmt. Sie sind eingebunden in ein irrationales Geflecht von Mode, Geschmack, Auflehnung, Anlehnung, Stil, Schönheit und Stimmigkeit. Dieses Geflecht näher zu fassen oder gar zu formalisieren ist nahezu unmöglich.

4 Grundlage einer Computerunterstützung : Der A4-Raum

Seit 1977 wird am Institut für Industrielle Bauproduktion der Universität Karlsruhe, ausgehend von dem allgemeinen Installationsmodell Armilla, an einer Computerunterstützung des architektonischen Entwurfsprozesses gearbeitet. Es entstanden bis heute verschiedene Softwareversionen [7, 8, 6, 10]. Dabei ist eine deutliche Schwerpunktverlagerung bei der Computerunterstützung feststellbar, von spezialisierten Werkzeugen, sog. Automaten mit eingeschränktem Wirkungsfeld, hin zu Assistenten, die den gesamten architektonischen Planungsprozeß unterstützen. Als eines der letzten Ergebnisse dieser Auseinandersetzung wurde für die flexible interaktive Kontrolle komplexer Strukturen die Idee eines n -dimensionalen Designraumes, des sog. A4-Raumes entwickelt [11]. Der A4-Raum erlaubt zum einen, alle Entwurfsentscheidungen in eine einheitliche Datenstruktur einzubringen, d.h. er fördert eine Datenintegration, zum anderen ermöglicht er die von den Architekten geforderte Flexibilität. Der A4-Raum ist Grundlage des vorliegenden Projektes.

4.1 These des A4-Modells

Die Hypothese des A4-Modells ist, daß Architekten, Ingenieure und Nutzer ein Gebäude nicht nur, wie üblich, in 3 Dimensionen planen und betreiben, sondern daß in Planung und Nutzung eine Vielzahl zusätzlicher Gesichtspunkte eingehen, die über weitere Dimensionen dokumentiert werden können. Die dreidimensionale Planung kann also auf einen vieldimensionalen Datenraum übertragen werden. Dadurch wird erreicht, daß ein integriertes Gebäudemodell mit ausreichender Kapazität und genügend inhaltlicher und struktureller Offenheit für alle Informationen eines Gebäudes über seine Lebenszeit zur Verfügung steht und über ein entsprechend leistungsfähiges graphisches Interface auch veranschaulicht werden kann.

4.2 Der vieldimensionale Designraum

Der vieldimensionale Designraum ist ein allgemeines Konzept. Er besteht aus einer beliebigen Anzahl kontinuierlicher und diskreter Achsen, die, wie die drei räumlichen Achsen, orthogonal zueinanderstehen und einen gleichmäßigen Raum aufspannen. Auf diesen Achsen können alle Entwurfsentscheidungen in einer einheitlichen Art und Weise so abgelegt werden, daß sie sich zwar voneinander eindeutig abgrenzen lassen, jedoch in ihrem Zusammenhang leicht wieder aufgefunden werden können. Jede Planungsentscheidung, die im vieldimensionalen Designraum dokumentiert ist, wird in einem sogenannten Container-Objekt (im folgenden auch nur als Container bezeichnet) abgelegt.

Die Eingabe einer Planungsentscheidung in den Designraum erfolgt zunächst einmal graphisch über die Benutzeroberfläche. Grundsätzlich werden somit die drei räumlichen Dimensionen von einem Container belegt. Gleichzeitig wird jeder Container auch zeitlich im Designraum auf Dimensionen 'time' und 'timetag' eingeordnet. Die Belegung dieser fünf, infolge ihrer Wertebestimmung sog. kontinuierlichen Dimensionen ist damit für jeden Container eine zwingende Bedingung. Alle weiteren Dimensionen sind optional. Sie können die Container im Designraum wahlweise genauer spezifizieren. Ein Container wird im Designraum daher mindestens durch eine durch die genannten fünf Dimensionen bestimmte Hyperfläche, im Extremfall der Vorgabe von Werten auf allen Dimensionen durch einen Punkt veranschaulicht.

Es existieren weitere acht diskrete Dimensionen, die sich im Laufe der Umsetzung des A4-Raum-Konzeptes für den architektonischen Entwurfsprozeß am Institut neben den beschriebenen 5 kontinuierlichen Dimensionen herauskristallisierten. Ihre Wahl und Ausprägung ist stark beeinflusst durch den Stahlbaukasten MIDI und das Installationsmodell Armilla. Sie spiegeln eine bestimmte architektonische Entwurfsauffassung wider, die nicht universell geteilt werden muß. In seiner Konzeption ist der vieldimensionale Designraum aber allgemein nutzbar, er müßte lediglich von Fall zu Fall anders spezifiziert werden.

Im folgenden sollen die bis jetzt gewählten Dimensionen, die auch unserem Projekt zugrundeliegen werden, genauer erläutert werden.

4.3 A4-Entwurfsentscheidung

Da wir in unserer Vision den umfassenden Computereinsatz in der architektonischen Planung unterstützen wollen, verstehen wir unter einem Planungsobjekt jegliche Information, die während der Planung, der Montage, dem Betrieb und der Demontage von Gebäuden entsteht und räumlich abgelegt werden kann. Dieses können neben den Zeichnungen und Skizzen auch Texte, Tabellen, Grafiken, Photos, Videoaufzeichnungen, Töne oder Gesprächsnotizen und selbst einzelne Wörter, Zahlen oder Funktionen, aber auch Softwareapplikationen und deren Schnittstellen sein. Schwierig und im Grunde auch unnötig ist die Aufgabe, eine solche Planungs- und Betriebsumgebung von der Umgebung des alltäglichen Bedarfs abzugrenzen. Denn die Vision eines umfassenden Computereinsatzes läßt sich weder räumlich noch zeitlich einschränken.

In unserem Projekt gehen wir von den folgenden Dimensionen aus:

- | | |
|------------------|------------------|
| 1. x | 7. Teilsystem |
| 2. y | 8. Morphologie |
| 3. z | 9. Alternativen |
| 4. t (time) | 10. User |
| 5. Größenordnung | 11. tt (Timetag) |
| 6. Auflösung | 12. Komposition |

4.3.1 Die *geometrischen Dimensionen*

Die ersten drei Dimensionen beschreiben die drei physikalisch-räumlichen Dimensionen x, y und z. Derzeit werden auf ihnen die Bounding Box Geometrien der Container mit den Werten x, dx, y, dy, und z, dz abgelegt. Die Werte x, y, und z beschreiben die linke untere Ecke, die Werte dx, dy und dz den relativen Vektor von der linken unteren Ecke zur rechten oberen Ecke der Bounding Box.

4.3.2 Die Dimension *Zeit*

Die Dimension Zeit ist die bauteilrelevante Zeit. Sie beschreibt den Zeitraum, in dem ein Container für ein Gebäude von Interesse ist. Bestimmt wird er in der Regel durch Bauteilbewegungen wie Montage, Umnutzung oder Demontage. Entsprechende klassische Instrumente aus der Bauplanung mit einer ähnlichen organisatorischen Funktionalität sind Balkendiagramme und Netzpläne. Die Werte der Dimension Zeit werden als ein Intervall (t, dt) dargestellt. Der Anfangszeitpunkt ist z.B. der Zeitpunkt der Montage des entsprechenden durch den Container repräsentierten Bauteils. Die Angabe des Endzeitpunktes, also des Zeitpunktes der geplanten Demontage des Bauteils, wird erst in späteren Planungsphasen möglich sein. Entsprechend wird ein Zeitpunkt zunächst mit einem Wert weit in der Zukunft angegeben.

4.3.3 Die Dimension *Größenordnung*

Die Dimension Größenordnung beschreibt die unterschiedlichen Maßstabebenen einer Planung, von der Stadtplanung über die Gebäudeplanung zur Detailplanung. Sie entspricht den klassischen Ebenen, etwa 1:1000, 1:500, 1:100, 1:50, 1:10 oder 1:1. Die Dimension Größenordnung sagt nichts über den Grad der Exaktheit einer Planung aus. Dieses leistet die Dimension Auflösung (s.u.). Vielmehr weist jede Größenordnung das gleiche Spektrum von vagen Skizzen bis hin zu exakten Angaben auf. Dies bedeutet z.B. für die städtebauliche Größenordnung ein Spektrum von städtebaulichen Skizzen bis hin zu exakten Angaben in Form von Baulinien oder Baugrenzen, für die Detailplanungsebene ein Spektrum von konstruktiven Skizzen bis hin zu exakten Ausführungsplänen mit den genauen Bauteilabmessungen.

Auf den unterschiedlichen Maßstabebenen kann relativ unabhängig voneinander geplant werden. Dies ist möglich, da Objekte innerhalb einer Maßstabebene in der Regel unabhängig von der Gestaltung der selben Objekte auf einer anderen Maßstabebene gestaltet sind. Lediglich für den geometrischen Ort der Objekte besteht eine Abhängigkeit voneinander. So ist die Gestaltung eines Türgriffs relativ unabhängig von der Gestaltung der Tür selbst. Diese wiederum ist relativ unabhängig von der Nutzung und Möblierung des Raumes, welche ebenfalls, bis auf die Schnittstellen, wenig mit dem Grundrißlayout des Geschosses zu tun haben. Das Geschoß ist unabhängig von der Anordnung des Gebäudes auf dem Gelände usw.. Allerdings müssen, neben dieser Art der Unabhängigkeit der Größenordnungen geometrische Restriktionen eingehalten werden, beispielsweise darf ein Tisch sich nicht außerhalb des Gebäudes befinden oder der Türgriff muß sich an einer Tür befinden.

Im A4-Raum unterscheiden wir zur Zeit fünf Größenordnungen:

Größenordnung 2: Alle A4-Container, die sich mit der Beschreibung eines ganzen Hauses befassen, gehören in A4 zur Größenordnung 2. Ein Beispiel sind die Hausanschlußleitungen, mit denen ein Haus technisch ver- und entsorgt wird.

Größenordnung 4: Alle A4-Container, die sich mit der Beschreibung eines ganzen Geschosses befassen, gehören in A4 zur Größenordnung 4. Ein Beispiel sind die vertikalen Steigleitungen, mit denen ein Geschoß technisch ver- und entsorgt wird.

Größenordnung 6: Alle A4-Container, die sich mit einem Ausschnitt eines Geschosses befassen (z.B. einem Raum), gehören in A4 zur Größenordnung 6. Ein Beispiel sind die horizontalen Leitungen in Deckenhohlräumen, die verschiedene Bereiche innerhalb der Geschosse technisch ver- und entsorgen.

Größenordnung 8: Als Beispiel für A4-Container der Größenordnung 8 können die vertikalen Leitungen in einer Installationswand gelten, die die verschiedenen Geräte technisch ver- und entsorgen.

Größenordnung 10: Die Geräte selbst haben in A4 die Größenordnung 10.

An diesem Beispiel zeigt sich, daß Planungen und Änderungen in den verschiedenen Größenordnungen verschieden aufwendig und langwierig sein können. Während ein Gerät (Größenordnung 10) relativ spontan und ohne größere Auswirkungen für das Gebäude verschoben oder ausgetauscht werden kann, ist der Umbau oder das Verlegen einer Hausanschlußleitung (Größenordnung 2) sehr viel kostspieliger und hat tiefgreifendere Folgen für ein Gebäude. Der Übergang, also die Schnittstelle zwischen den einzelnen Größenordnungen, kann teilweise über Adapter geregelt werden, die dann den ungeraden Größenordnungen zugeordnet werden. Zweigleitungen in Armilla stellen solche Adapter dar, oder auch das Kabel eines Toasters kann als solches verstanden werden.

4.3.4 Die Dimension *Auflösung*

Auf der Dimension Auflösung läßt sich, wie erwähnt, die Genauigkeit einer Planung beschreiben. Sie reicht von der vagen Skizze bis hin zu der exakten Ausführungsplanung, also von umschreibenden, ungenauen Darstellungen bis hin zu genauen Detaillierungen. Der Übergang von der vagen zur exakten Planung entspricht in etwa dem groben architektonischen Planungsverlauf, der auch durch die Planungsphasen der HOAI beschrieben wird. Auch wenn es ein ständiges Hin- und Herschalten zwischen den Graden der Auflösung während einer Planung gibt, so ist doch festzustellen, daß in der Anfangsphase eher Skizzen, unverbindliche Gespräche und allgemeines Brainstorming dominieren, in der Endphase dagegen die genaue Festlegung von Konstruktionen, Funktionen und Leistungen.

Zur Zeit werden im A4-Raum drei verschiedene Auflösungsgrade, also Werte auf der Dimensionsachse, unterschieden:

Zone: 'Zonen' bezeichnen räumliche Bereiche, die übergroß sind und sich als noch verhältnismäßig freizügig planbare Spielräume gegenseitig überlagern und durchdringen können. Sie werden in der Regel mit Ellipsen oder Freiformflächen dargestellt.

Hülle: 'Hüllen' bezeichnen räumliche Bereiche, die minimal groß sind und exklusiv Raum für einen bestimmten Zweck reservieren. Sie werden in der Regel mit Rechtecken oder Polygonen dargestellt. Auch hier kann es zu Überlagerungen kommen, doch sind diese dann ein Kennzeichen für eine Konfliktsituation ('Kollision').

Teil: 'Teile' bezeichnen Container, die nicht weiter bearbeitet werden sollen. Sie können deshalb so dargestellt werden wie sie in Realität sind, z.B. mit einem Photo. Teile sind nach dieser Auffassung nicht nur Details, sondern auch z.B. Bebauungsgrenzen, schon existierende Gebäude oder das Gelände. Teile sind also ganz allgemein Zusammenhänge, die man nicht weiter bearbeiten will, kann oder darf, und die deshalb ab sofort als Konstanten gelten.

Eine Planung wird in der Regel mit sehr stark überdimensionierten Zonen beginnen, die im Verlaufe der Planung schrittweise bis auf Hüllen präzisiert werden. Eine Planung schließt mit den Teilen innerhalb der Hüllen ab. Innerhalb des A4-Raumes wird keine Zusammensetzung von Zonen aus Zonen, Hüllen aus Hüllen bzw. Teilen aus Teilen explizit modelliert. Diese Zusammensetzung ist nur durch Überlagerung im A4-Raum dargestellt und durch entsprechende Kollisionsüberprüfung zu ermitteln.

Ein sehr interessantes Problem der Auflösungs-Achse ist die Koordination der Maße: Die Teile, z.B. ein Ziegel, eine Treppenstufe, ein Stahlprofil, aber auch die Umgebung eines Gebäudes, wie die Topographie oder Anschlußpunkte der Erschließung, haben in der Regel festgelegte und nicht veränderbare Maße. Sie haben im A4-Raum daher auf der Auflösungs-Achse die Position Teile. Die Zonen sind dagegen übergroß und haben nur relative Bezüge. Wird nun über die Zonen schrittweise ein System von relativen, räumlichen Abhängigkeiten aufgebaut, und wird die Planung soweit präzisiert, daß die Zonen mit ihrem relativen Maßsystem in das absolute Maßsystem der Hüllen und Teile überführt werden sollen, so kommt es oft zu Konflikten zwischen den beiden Maßsystemen.

4.3.5 Die Dimension *Teilsysteme*

Entsprechend den verschiedenen traditionellen Gewerken oder den verschiedenen technischen Systemen eines Gebäudes kann der Bauprozess in verschiedene Teilsysteme gegliedert werden. Sie durchziehen weite Bereiche des Bauprozesses und werden von unterschiedlichen Fachleuten betreut. Beispiele sind Rohbau, Möblierung, Beleuchtung, elektrische Versorgung, Klimatechnik, Akustik, Statik, etc. Neben dieser übergeordneten Einteilung der Planungsobjekte eines Gebäudes existieren beim eigentlichen Entwurf noch Objekte wie z.B. Tisch, Leitung, Decke, ... selbst. Diese werden jedoch separat im Fachplaner "Entwurf" modelliert und erfaßt; sie gehören nicht zum Repertoire der Basisinformationen über Entwurfsentscheidungen, wie sie im A4-Raum modelliert werden.

4.3.6 Die Dimension *Morphologie*

Mit dieser Dimension ist der Zweck einer Planung gemeint, der über die Zeit wechseln oder sogar zu einem bestimmten Zeitpunkt mehrdeutig sein kann. Für den A4-Raum werden drei einander ergänzende Beschreibungen vorgeschlagen, die je nach Zusammenhang unterschiedlich interpretiert, erweitert oder ersetzt werden können:

Nutzung: Nutzungen (NU) bezeichnen Anforderungen an einen räumlichen Bereich.

Ausstattung: Ausstattungen (AU) bezeichnen räumliche Bereiche baulicher und/oder technischer Ausstattungen, um die NU zu ermöglichen.

Erschließung: Erschließungen (ES) bezeichnen räumliche Bereiche baulicher und/oder technischer Systeme oder Subsysteme, die die AU ver- oder entsorgen.

In konkreten Projekten sind diese Unterscheidungen oft schwer voneinander abzugrenzen. Deshalb ist mit einer Vielzahl oft konkurrierender Beschreibungen zu rechnen, die sich aber, da sie u.a. räumlich voneinander getrennt werden können, nicht gegenseitig ausschließen müssen.

4.3.7 Die Dimension *Alternativen*

Die Dimension Alternativen dient zur Unterscheidung und Benennung verschiedener Planungsalternativen. Die A4-Dimension 'Alternative' sieht nur die Verwaltung eines Alternativennamens vor, die eigentliche Alternativenorganisation wird dem Benutzer überlassen. Eine zu unterstützende Arbeitsweise könnte wie folgt aussehen: Wenn ein Gebäude neu entworfen oder umgeplant wird, arbeiten die Planer in der Regel an verschiedenen alternativen Fragestellungen und Lösungsansätzen gleichzeitig. Sie verfolgen die Alternativen parallel bis zu dem Punkt, an dem vergleichende, qualitative Aussagen gemacht werden können. So entsteht ein Entscheidungsbaum von Alternativen. Der Planer kann sich in dem Entscheidungsbaum bewegen, Planungen bis zu einem bestimmten Knoten zurücknehmen und neue Äste bilden. Die Darstellung des Versionsbaumes müßte durch geeignete Namensgebung (z.B. Alternative 1.3.5) unter Kontrolle der Entwerfer erfolgen.

4.3.8 Die Dimension *User*

Die Dimension User dient der Kennzeichnung verschiedener am Entwurf beteiligter Planer. Diese Achse des Datenraumes ist die Basis zur Darstellung von Multiuser-Umgebungen im Datenraum.

4.3.9 Die Dimension *Timetag*

Die Dimension Timetag beschreibt die planungsrelevante Zeit. Container bekommen auf ihr, mit ihrer Entstehung im Designraum, einen Zeitstempel für die Anfangszeit und, wenn sie gelöscht werden, einen Zeitstempel für die Endzeit. Wird ein Container modifiziert, wird der ursprüngliche Container mit einem Endzeitstempel, der veränderte Container als neuer Container mit einem Anfangszeitstempel versehen. Den Zusammenhang der modifizierten Container mit der gleichen semantischen Bedeutung gewährleistet die Dimension Komposition (s.u.). Der Planer soll aktiv die Timetag-Werte der Container verändern können und somit die Container zueinander in einen neuen zeitlichen Zusammenhang stellen. Mit Hilfe der timetag-Achse sind dann z.B. Entwurfs-Animationen, also Containerbewegungen im Designraum über die Zeit, simulierbar.

4.3.10 Die Dimension *Komposition*

Die Dimension Komposition dient der Zusammenfassung von Containern zu semantischen Bedeutungseinheiten. Inhaltlich gleiche Container können auf ihr den gleichen Wert bekommen und so als einander zugehörig festgelegt werden, obwohl sie sich auf den anderen Dimensionen unterscheiden. So läßt sich z.B. die semantische Bedeutungseinheit einer Tür als gleiche Identität über verschiedene Planungsstufen und Positionen verfolgen. Die Wertebelegung auf der Kompositionsachse, die Container zu semantischen Bedeutungseinheiten zusammenfaßt, ist die sogenannte Kompositions-ID. Die Namensgebung sollte nicht zur Verwechslungen verleiten: Die Container-Komposition ist keine 'part-of'-Beziehung, mittels derer die Zusammensetzung eines Containers aus mehreren anderen üblicherweise modelliert wird. Diese Beziehung wird im A4-Raum nicht direkt modelliert, sondern kann durch entsprechende Kollision im A4-Raum ermittelt werden.

4.4 Zusatzinformationen im A4-Raum

Situationen: Unter Situationen verstehen wir bestimmte Sichten auf die Container im Designraum. Der Planer kann im Laufe seiner Planung bestimmte Planungszustände, wie sie auf der graphischen Oberfläche vorliegen, als Situationen oder auch sogenannte Snapshots abspeichern, um später mit einem Befehl auf diese (und die darin enthaltenen Container) wieder zurückkehren zu können.

Beschreibungsattribute: Die oben beschriebenen Dimensionen mit ihren Dimensionsattributen reichen aus, um eine Entwurfsentscheidung eindeutig zu beschreiben. Der Zugriff auf und die Manipulation von Containern ist eng an diese Dimensionsattribute gekoppelt. Die Navigation erfolgt über Kollisionen auf den Achsen und der Auswertung von Nachbarschaftsbeziehungen, die über den Achsen des A4-Raumes definiert sind.

Zusätzlich zu den Positionen im A4-Raum jedoch können die Container mit Hilfe von sogenannten Beschreibungsattributen weiter spezifiziert werden. Beschreibungsattribute wären z.B. nähere Spezifikationen der Planungsobjekte für die Darstellung auf der graphischen Oberfläche, wie Farbe oder Transparenz oder auch alternative Repräsentationsformen, wie z.B. Geometrieformate für eine vektororientierte Darstellung in 2D und 3D, unterschiedliche Bildformate für eine pixelorientierte Darstellung, oder aber auch Programmmodule, die das entsprechende Planungsobjekt erzeugt haben oder weiter bearbeiten können.

4.5 Ausschnitt einer Beispielplanung im A4-Raum

Abb. 1 zeigt für eine Planungssituation die Benutzungsoberfläche. Der Planer beschäftigt sich mit der Detaillierung einer Gebäudeecke und läßt sich dazu die bauteilspezifischen Daten, etwa einer Stütze (vgl. Abb. 1: 2) mit den dazugehörigen Trägern (vgl. Abb. 1: 6) und Ausschnitten der Fassade (vgl. Abb. 1: 5) oder einen speziellen Fassadenposten (vgl. Abb. 1: 4) anzeigen. Darüberhinaus hat er funktionsspezifische Daten in Form des Eckraumes (vgl. Abb. 1: 8) weitere den Planungsprozeß begleitende Daten und Werkzeuge eingeblendet, so einen beschreibenden Text über die Fassade (vgl. Abb. 1: 3), ein begleitendes Photo (vgl. Abb. 1: 7) eines Referenzgebäudes sowie ein Berechnungsprogramm (vgl. Abb. 1: 1), das in Form eines Taschenrechners dargestellt ist.

In Abb. 2 ist die Abbildung der auf der Oberfläche in Abb. 1 aktuell selektierten Objekten (vgl. Abb. 1: 1,2,3,4) als Container in den Entwurfsdaten dargestellt. An diesem Beispiel sollen die Attribute der auf der Oberfläche selektierten Objekte veranschaulicht werden. Die Dimensionsattribute beschreiben die Position der Planungsentscheidung im A4-Raum. Unmittelbar ablesbar sind die Belegung der Achsen x und y , die die Position der Bounding-Box der selektierten Objekte auf der Planungsoberfläche beschreiben. Die Beispielcontainer befinden sich bzgl. der Morphologie-Achse in der "Ausstattung"-Planung und sind auf der Maßstabsebene 8 dargestellt. Darüberhinaus werden mögliche Beschreibungsattribute deutlich. Wichtig ist, daß neben den bauteilspezifisch beschreibenden Attributen, wie Katalognummer oder Kosten, auch Attribute vorkommen, die die Repräsentationsform auf der Oberfläche, wie Farbe, Transparenz und auch alternative Repräsentationsformen der Planungsobjekte, beschreiben. Im Beispiel sind das der Text über die Fassade, der innerhalb seiner Bounding Box die Funktionalität eines Textverarbeitungsprogramms besitzt (vgl. Abb. 1: 2 und Abb. 2: 4), oder der "Calculator" (vgl. Abb. 1: 1 und Abb. 2: 1), der wie ein externes Berechnungsprogramm funktioniert, jedoch nun innerhalb der Planungsumgebung angeordnet und in Zusammenhänge zu anderen Objekten gestellt werden kann. So kann ein Planungsobjekt über seine Beschreibungsattribute je nach Zusammenhang sein Erscheinungsbild und seine Funktionalität wechseln.

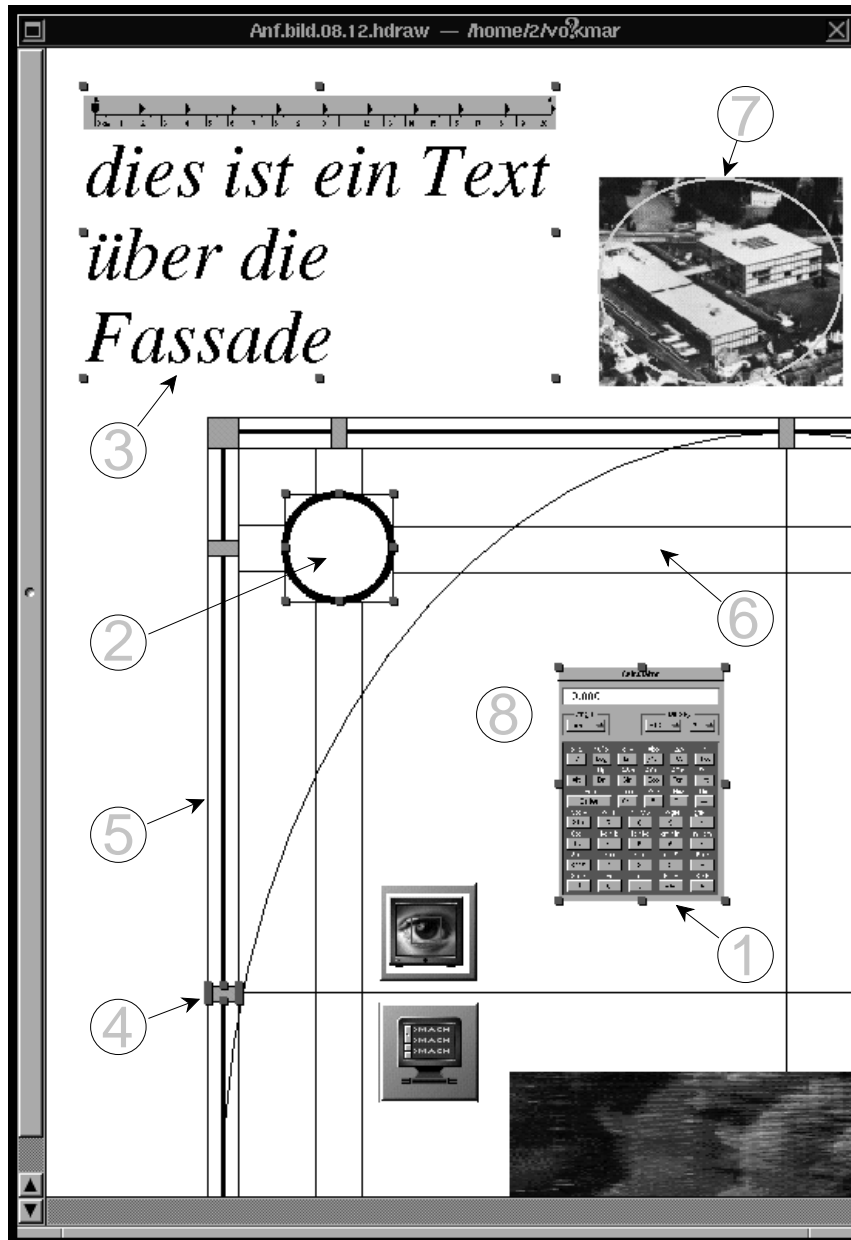


Abbildung 1: Beispiel einer Planungssituation im A4-Raum

Container 1	
Dimensionsattribute	
x, dx	250, 50
y, dy	750, 80
z, dz	300, 300
t, dt	0, 0
timetag	1784920
Ma' stab	8
Aufl sung	Teil
Teilsysteme	Applikation
Morphologie	Ausstattung
Alternativen	nil
User	A
Beschreibungsattribute	
Bezeichner	ID
Geometrie	Image
Farbe	nil
Transparenz	nil
Image	path/Calculator.tiff
Interface	path/Calculator.nib
Input	(list of inputs)
Output	(list of outputs)

Container 2	
Dimensionsattribute	
x, dx	100, 30
y, dy	810, 30
z, dz	300, 540
t, dt	0, 0
timetag	1785790
Ma' stab	8
Aufl sung	Teil
Teilsysteme	St tze
Morphologie	Ausstattung
Alternativen	nil
User	A
Beschreibungsattribute	
Bezeichner	ID
Geometrie	Image
Farbe	nil
Transparenz	nil
Image	path/St tze.ps
Kosten	1250,00
Bestellnr.	267-3987-F

Container 3	
Dimensionsattribute	
x, dx	30, 200
y, dy	950, 80
z, dz	300, 300
t, dt	0, 0
timetag	1785280
Ma' stab	8
Aufl sung	Teil
Teilsysteme	Beschreibung
Morphologie	Ausstattung
Alternativen	nil
User	A
Beschreibungsattribute	
Bezeichner	ID
Geometrie	Image
Farbe	nil
Transparenz	nil
Image	path/Text.rtf
Interface	path/TextEdit.nib
Input	(list of inputs)
Output	(list of outputs)

Container 4	
Dimensionsattribute	
x, dx	50, 10
y, dy	550, 5
z, dz	300, 600
t, dt	0, 0
timetag	1785763
Ma' stab	8
Aufl sung	Teil
Teilsysteme	Fassadenpfosten
Morphologie	Ausstattung
Alternativen	nil
User	A
Beschreibungsattribute	
Bezeichner	ID
Geometrie	Image
Farbe	nil
Transparenz	nil
Image	path/Pfosten.ps
Kosten	260,00
Bestellnr.	124-1462-A

Abbildung 2: Container zur Beispiel-Planungssituation im A4-Raum

4.6 Positionen, Nachbarschaften und Kollisionen im A4-Raum

Wird ein Planungsobjekt im A4-Raum angeordnet, so erhält es über die Belegung der Dimensionen eine eindeutige Position. Alle Container, die sich in einem bestimmten räumlichen Abstand von einem Planungsobjekt befinden, bilden die räumlichen Nachbarn des Planungsobjektes. Entsprechend wird der Nachbarschaftsbegriff auf allen Dimensionen festgelegt. Wird von zwei Containern mindestens eine selbe Position belegt, so sprechen wir von kollidierenden Containern oder von Kollisionen. Die Begriffe Nachbarschaft und Kollision werden für jede Dimension unterschiedlich definiert und sind in Abbildung 3 näher erläutert. Die Achsen sind gekennzeichnet durch die Ordnung des zugrundeliegenden Wertebereichs und durch die Kardinalität der Werte, die ein Achsenattribut aus dem Wertebereich beinhalten kann.

In Abb. 1 kollidieren beispielsweise sowohl die Stütze als auch der Taschenrechner mit dem sie umhüllenden Eckraum, und die Stütze ist der Fassade räumlich benachbart. Bei den Nachbarschaftsbeziehungen obliegt es dem Architekten festzulegen, wie weit dieser Begriff gefaßt wird.

Achse	Ordnung	Kardinalität	Kollision	Nachbarschaft
x,y,z	kontinuierliche Skala	ein Bereich	Überlagerung der Positionen	Räumliche Nähe
t, tt	kontinuierliche Skala	ein Bereich	Überlagerung der Positionen	Zeitliche Nähe
Größenordnung	geordnete Liste	ein Listen-Element	gleiches Element	beide Nachbar-Elemente der Liste
Auflösung	geordnete Liste	ein Listen-Element	gleiches Element	beide Nachbar-Elemente der Liste
Teilsystem	ungeordnete Menge	ein Listen-Element	gleiches Element	jedes Element der Menge
Morphologie	ungeordnete Menge	ein Listen-Element	gleiches Element	jedes Element der Menge
Alternativen	Baum	ein Knoten	Element des Teilbaums	benachbarte Knoten ersten und zweiten Grades
User	ungeordnete Menge	ein Listen-Element	gleiches Element	jedes Element der Menge
Meta	ungeordnete Menge	ein Listen-Element	gleiches Element	jedes Element der Menge
Komposition	ungeordnete Menge	ein Listen-Element	mindestens ein gleiches Element	jedes Element der Menge

Abbildung 3: Zusammenfassung der Dimensionen

4.7 Bewegung im A4-Raum

Die während des Entwurfsprozesses abgelegten Daten sind komplex und vielfältig. In ihnen muß sich ein Planer zurechtfinden, indem er die Daten entsprechend seiner Planungssituation und dem

für ihn beherrschbaren Komplexitätsgrad wirkungsvoll filtert. Er selektiert also einen Container, dessen Position er dann einnimmt. Man spricht auch von “Navigation” im Datenraum zu einem Container hin.

Eine Art der Filterung läßt sich als “absolutes Springen” im Datenraum umschreiben. Der Planer verläßt – sofern er nicht am Anfang steht – seinen augenblicklichen Container (und damit dessen Informationen), um einen neuen Container aufzusuchen. Dieser kann durch seine Position im Datenraum oder durch sonstige ihn eindeutig kennzeichnende Dimensionswerte bestimmt sein, oder auf maschinellen Verfahren, etwa des ‘Pattern Recognition’ oder des ‘Case Based Reasoning’ beruhen.

Eine zweite Art der Filterung geht von einem Container aus und sucht die durch ihn bestimmte Planungsumgebung zu erweitern, indem als Sichtfeld die Menge aller Container, die mit der eigenen Position kollidieren oder mit ihr im Datenraum benachbart sind, gewählt wird. So bestimmt der Planer seine Position ständig neu, indem er neue Container selektiert und damit ein neues Blickfeld bekommt. Diese Art der Navigation kann man als ‘relatives Springen’ bezeichnen. Der Planer bewegt sich von einem Nachbarn zum nächsten. Seine Art der Navigation ist in der Regel assoziativ geleitet.

4.8 Kommunikation im A4-Raum

Der Designraum ist sowohl Planungs- als auch Kommunikationsraum. Fast alle Entscheidungen, die während des Entwurfes getroffen werden, sollten wenn möglich nicht isoliert, sondern in Zusammenarbeit aller am Planungsprozeß Beteiligten, getroffen werden. Dabei kommt es ständig zu Konflikten, die wiederum durch Kommunikation gelöst werden müssen. Die Container sollten daher für alle Beteiligten verständlich und ihrem Aufgabenbereich angemessen zugänglich im Designraum angeordnet werden können. Die Positionen der Planer und ihre wechselnden Zugriffsrechte im Designraum müssen auf eine einheitliche und verständliche Art geregelt sein.

4.9 Constraints im A4-Raum

Container sind nicht mehr als eine Dokumentation von Ergebnissen eines Planungsprozesses. Sie beeinflussen den Planungsvorgang nur insoweit als sie Eingaben für neuerliche Prozesse darstellen. Daß Planungsprozesse in einem gegebenen Sinn “konkret” ablaufen, daß also beispielsweise die Informationsmaterialien aus Abschnitt 3.4 gebührend berücksichtigt werden, liegt allein in der Verantwortung des Planers. Hier kann man sich mehr an automatischer Überwachung vorstellen, mit entsprechenden Mitteilungen an die Planer bei Verstößen oder sogar mit automatischen Korrekturen. Die erwähnten Materialien schränken nämlich im allgemeinen die Gestaltungsspielräume des Planers ein. Derartige Beschränkungen lassen sich in rechnergestützten Systemen durch sogenannte Constraints erfassen, die, wenn sie einmal dem System bekanntgemacht werden, von ihm auch überprüft werden können.

Wir unterscheiden derzeit drei verschiedene Constraintarten, die den Planungsprozeß entscheidend unterstützen sollen:

Designraum-Constraints: Durch die Beziehungen, die im Designraum zwischen bestimmten Achsen existieren, jedoch nicht in der A4-Darstellung formulierbar sind, werden Constraints zur Modellierung dieser Zusammenhänge benötigt. Hierzu zählen insbesondere die Achsen Maßstab und Auflösung.

Semantische Constraints: Semantische Constraints sind Constraints, die semantische Abhängigkeiten zwischen den Planungsdaten kontrollieren. Sie sind entweder vorformuliert (wie z.B.

DIN-Vorschriften, Bauvorschriften o.ä.) oder können vom Planer selbst im Laufe des Entwurfs formuliert werden.

Geometrische Constraints: Geometrische Constraints sind Constraints, die geometrische Abhängigkeiten zwischen den Planungsdaten kontrollieren. Auch sie sind entweder vorformuliert (wie z.B. Raster, Baukästen o.a.) oder können vom Planer selbst im Laufe des Entwurfs definiert werden.

5 Die graphische Benutzeroberfläche

Wie alle Entwerfer sind menschliche Planer auf die Visualisierung der Planungsdaten angewiesen. Gefordert werden muß daher eine graphische Benutzeroberfläche als Eingabe-, Kontroll- und Ausgabeschnittstelle, die die Brücke zwischen Benutzer und Computer, genauer: der abstrakten Dokumentation in Form des A4-Raums, dessen Manipulation und dessen Überwachung durch Constraints, schlägt. Die Oberfläche ist sowohl Planungsplattform mit den nötigen Werkzeugen zum Erstellen, Manipulieren und Löschen von Daten, als auch Navigationsplattform zum Navigieren durch bestehende Datensätze in einem verzweigten Datennetz, als auch Kommunikationsplattform für die verschiedenen beteiligten Benutzer und Expertensysteme.

Die Planungsplattform: Die Planungsplattform muß unterschiedliche Medien wie Text, Graphik, Bild, Ton, Video und Sprache mit deren spezifischen Bearbeitungsinstrumenten in einer multimedialen Planungsumgebung integrieren. Die Schwierigkeiten liegen dabei in der Wahrung der Übersichtlichkeit der Planungsumgebung, bei begrenzter Visualisierungsfläche (Bildschirmfläche) und Aufnahmekapazität des Menschen.

Verschiedene Möglichkeiten der Visualisierung sind in den Abbildungen 4, 5 und 6 dargestellt. Diese sowie weitere Möglichkeiten lassen sich wie folgt erläutern.

- Durch die Verwendung von Ellipsendarstellungen für die Container, die als Wert der Auflösungs-Dimension Zonen beinhalten, kann die insgesamt beherrschbare Informationsmenge, die auf dem Planungsoberfläche darstellbar ist, erhöht werden. Ellipsen berühren sich nur in wenigen Punkten, können sich daher überlagern und behalten trotzdem, auch in Ausschnitten noch, infolge ihrer Krümmung ihre räumliche Aussagekraft. Gleichzeitig sind Ellipsen ein gutes Medium, um den Skizzencharakter eines Elementes darzustellen, siehe rechter Ausschnitt von Abb. 4.
- Die Information muß visuell oder akustisch aufbereitet werden, um die Verständlichkeit zu erhöhen und zu beschleunigen. Mögliche Verfahren wären dafür die graphische Bündelung der Information durch ihre Überlagerung (Realaufnahmen – Planung, Realaufnahmen – Simulation, Planung – Simulation ...), ihre Transformation (Falschfarbendarstellungen, 2D-Shader, 3D-Shader, Animation, Ton...), oder ihre Komprimierung (Icons ...). Techniken aus der 'scientific visualization' können Ideen dazu liefern.
- Die artfremde Verwendung einer der drei räumlichen Achsen x , y , z kann die räumliche Information visuell in andere Zusammenhänge stellen (x , y , Zeit ...)(s. Abb. 5, [12]).
- Die Verwendung anderer Perspektivsysteme kann die insgesamt darstellbare und beherrschbare Informationsmenge erhöhen (z.B. hyperbolische Projektionen in 2D, Kugelprojektionen in 3D etc.). Siehe dazu Abb. 6.

- Parallel ablaufende Prozesse können im Hintergrund arbeiten, müssen wichtige aktuelle Ergebnisse jedoch in irgendeiner Form visuell oder akustisch auf die Oberfläche bringen (Graphik, Animation, Ton, Attraktoren in beliebiger Form).

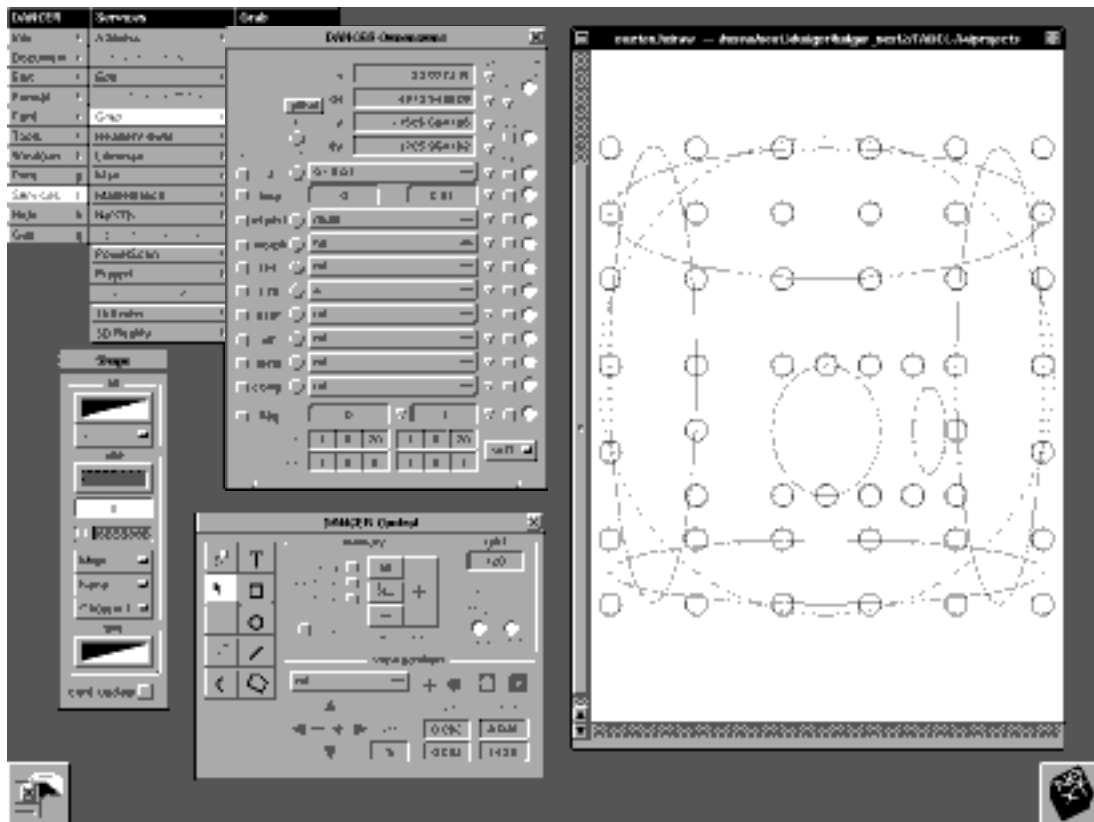


Abbildung 4: Beispiel der graphischen Entwurfsoberfläche mit einer Ellipsendarstellung unter NeXTStep [NeXTStep ist ein eingetragenes Warenzeichen der Next Computer Inc.]

Die Navigationsplattform: Grundsätzlich lassen sich zwei Arten der Navigation unterscheiden. Erstens die Navigation über bekannte Nachbarn oder Adressen (absolute Sprünge im A4-Raum). Diese Art der Bewegung ist die klassische Navigation in bisherigen Computerumgebungen. Daneben gewinnt mehr und mehr, mit der Zunahme der zu bewältigenden Daten, die Navigation über Assoziationen an Bedeutung. Der Planer läßt sich visuell oder akustisch durch eine in dieser Hinsicht aufbereitete Datenlandschaft führen. Dabei sind neben der gängigen Metapher des Desktops andere Metaphern wie z.B. die der Landschaft oder der Stadt (siehe Abb. 7) denkbar. Die zuvor besprochenen relativen Sprünge modellieren dann eine Bewegung in derartigen Landschaften. Assoziationen leiten ihn wie in der wirklichen Welt von einem Interesse zum nächsten. Hier wird die besondere Bedeutung der visuell-akustischen Aufbereitung von Information deutlich. Sogenannte Attraktoren "buhlen" parallel um die Aufmerksamkeit des Planers, der

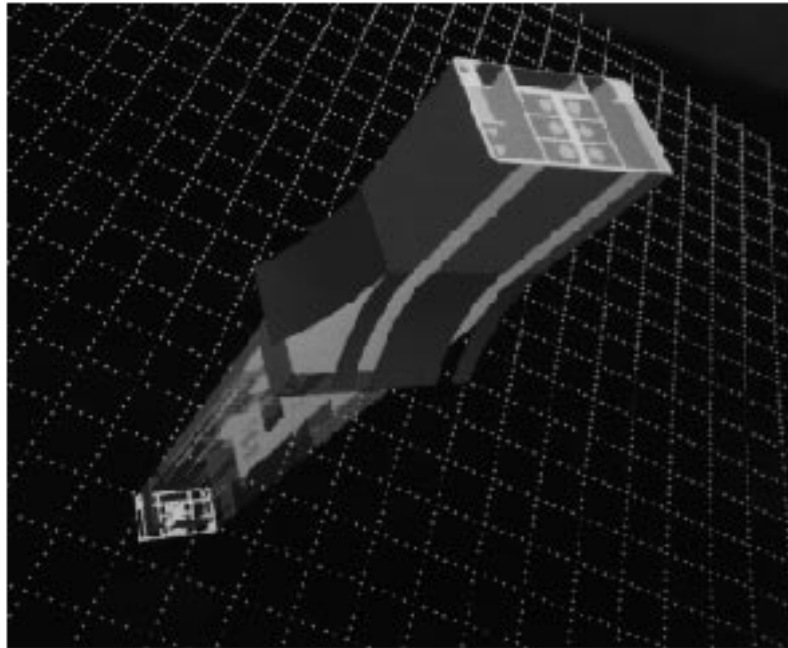


Abbildung 5: Artfremde Verwendung einer der drei räumlichen Dimensionen, hier der z-Achse als Zeitachse [13]

zwischen ihnen wechselt, um die Information in der gerade für den Planungszeitpunkt günstigsten Form präsentiert zu bekommen. Neben diesen aktiven assoziativen Bewegungen seitens des Planers müssen Werkzeuge entwickelt werden, die ihn bei der assoziativen Suche unterstützen und die dazu in die graphische Oberfläche eingearbeitet werden sollten.

Die Kommunikationsplattform: Für die Kommunikationsplattform liegen die Anforderungen in der Realisierung eines Mehrbenutzerbetriebes auf einer Datenhaltung und der Integration von Telekommunikationseinrichtungen in der Planungsumgebung. Dies bedeutet die Einbindung von Telephon, Fax, TV, Video, Gestik, Mimik und Spracherkennung in der Oberfläche.

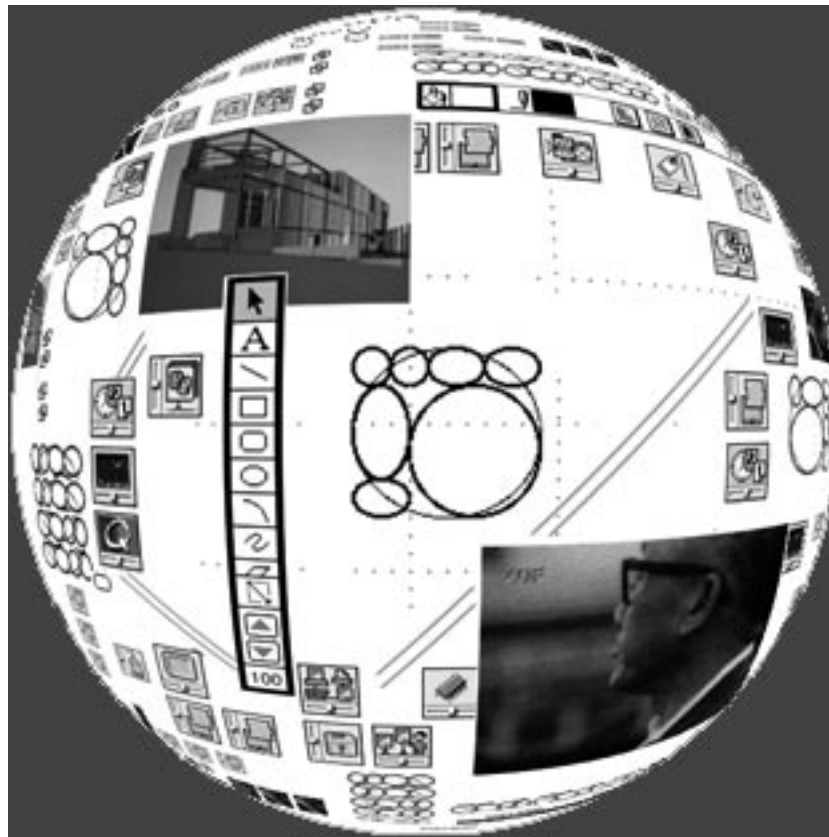


Abbildung 6: Beispiel für andere Projektions- und Abbildungsverfahren, hier einer sphärischen Benutzeroberfläche

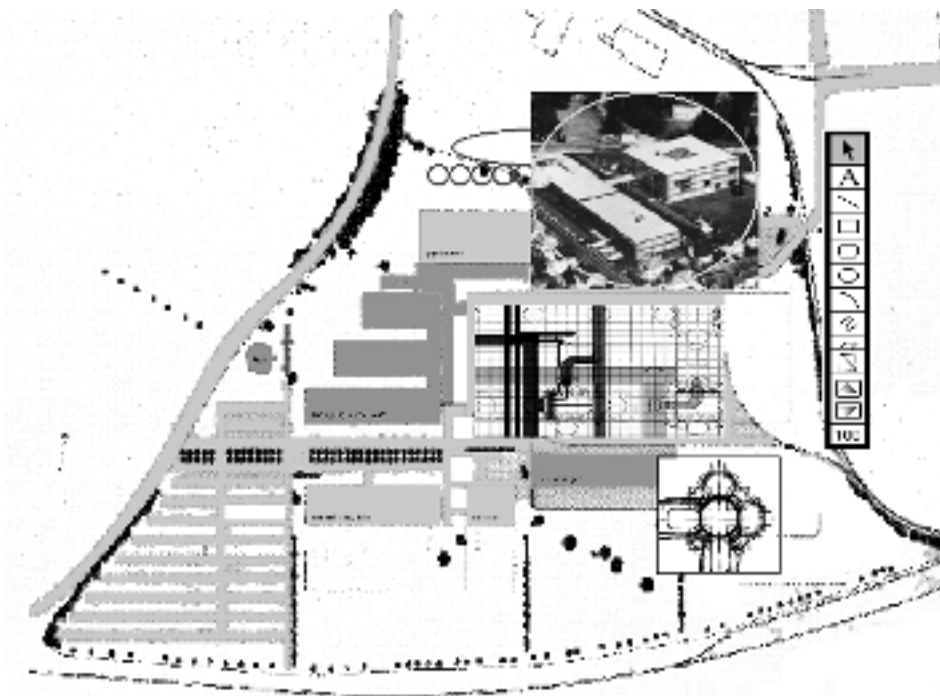


Abbildung 7: Beispiel für die Verwendung einer anderen Metapher als die des Desktops zur Ablage von Informationen: Landschaftsmetapher, Stadtmetapher

6 Grundlagen der Wissensverarbeitung im Entwurfsprozeß

Mit dem Ziel einer effektiven Arbeitsunterstützung des Gebäudeentwurfsprozesses werden derzeit auf verschiedenen Gebieten der Wissensverarbeitung Werkzeuge diskutiert und entwickelt :

- Expertensysteme
- “Intelligente” Datenbanken
- CAD–Systeme
- Neuronale Netze

Expertensysteme eignen sich für Gebiete, in denen viel Wissen vorliegt, sich aber die Masse der Daten, die mit dem Wissen zu bearbeiten sind, in Grenzen hält. Stärke der Expertensysteme sind die heute schon sehr weit entwickelten Gebiete der Inferenzmechanismen und der Belief Revision Techniken. Dem Schwachpunkt der Verarbeitung großer Datenmengen in Expertensystemen wird teilweise durch Ansätze zur Integration von Datenbanken begegnet. Die Gruppe der sogenannten “Intelligenten” Datenbanken ziehen das Problem von der anderen Seite auf: Klassischerweise können große Datenmengen verwaltet und verarbeitet werden, die Integration von Inferenzmechanismen steckt aber noch sehr in den Kinderschuhen. Aktive bzw. deduktive Datenbanken versuchen diese Lücke zu schließen.

Traditionell stark in der Verarbeitung von geometrischen Daten sind die CAD–Systeme, die aber für sich genommen in ihrer Funktionalität ebenfalls nicht ausreichen, um den Architekten im Planungsprozeß adäquat zu unterstützen, da die Verarbeitung von großen Datenmengen, die nicht geometrischer Natur sind, nicht geeignet unterstützt wird.

Neuronale Netze unterstützen insbesondere das in der Architektur geforderte assoziative ”Driften” von einer Entwurfsidee zur nächsten, wobei die anderen angesprochenen Aspekte vernachlässigt werden.

Keine der bisher vorhandenen Techniken erfüllt also die Anforderungen des Architekten umfassend. Wir wollen im ArchE–Projekt versuchen, dazu die Technik der “intelligenten” Datenbanken zu erweitern, indem wir eine Datenbank um die Repräsentationsmöglichkeiten von Wissen und um einen dazugehörigen Inferenzmechanismus ergänzen. Im folgenden wird, um besser die Ausmaße der benötigten Techniken zu sehen, eine Übersicht über die im Architekturbereich vorhandenen Wissensarten gegeben. (Wissensbasierte Ansätze, die in der Architektur verwendet werden, werden ebenfalls in den Dissertationen von Angelika Drach [6] und Ludger Hovestadt [11] behandelt.)

6.1 Wissensarten

Fallvergleichendes Wissen: Fallvergleichendes Wissen ist Wissen über erfolgreich gelöste Planungssituationen, die als Fall abgespeichert wurden. Eine Computerunterstützung könnte hier zum einen helfen, in einer Planungssituation ähnliche schon durchgeführte Planungen wieder aufzufinden oder sogar automatisch in die aktuelle Planung mit aufzunehmen. Ein anderer Aspekt ist das Lernen z.B. aus Fehlern in früheren Planungen. Hier könnte ein Architekt dann, falls er den selben Fehler in ähnlichen Fällen wieder macht, entsprechend gewarnt werden. Ebenso könnten gute Planungen mit in neue Entscheidungen einfließen.

Heuristisches Wissen: Mit heuristischem Wissen wird oft unscharfes Wissen bezeichnet, das in gerichteter Weise von Problemmerkmalen auf Problemlösungen hindeutet.

Viel Wissen in der Architektur ist heuristischer Natur. Z.B. ist es in der Regel sinnvoll, den Hauseingang zur Straße und das Wohnzimmer eines Hauses nach Süden auszurichten. Vages Planungswissen kann teilweise in Form von heuristischem Wissen formuliert werden. Dieses Wissen könnte beispielsweise dazu eingesetzt werden, in Standardsituationen zu schnelleren Lösungen zu kommen oder dem Architekten Lösungsvorschläge zu machen.

Probabilistisches Wissen: Probabilistisches Wissen ist unscharfes Wissen, das durch statistische Aufbereitung einer Menge erfolgreich gelöster Fälle gewonnen wurde und den Fakten eine bestimmte Wahrscheinlichkeit für ihr Zutreffen zuordnet. Aufgrund von Erfahrung könnte es möglich sein, statistische Aussagen über die Güte von bestimmten Planungsentscheidungen zu gewinnen, die in weiteren Planungen mit einbezogen werden können. Um halbwegs gesicherte probabilistische Aussagen treffen zu können, sind jedoch eine Menge an Vorinformation bzgl. erfolgreich gelöster Fälle notwendig.

Modellbasiertes (kausales) Wissen: Modellbasiertes Wissen umfaßt allgemeine Zusammenhänge zwischen Problemlösungen und Problemmerkmalen, die eine Klasse von Anwendungsfällen unterstützen. Beispiele für modellbasiertes Wissen im Bauwesen sind Kataloge, die bildhaft Planungsvorschriften erläutern. Ein solcher Katalog ist die Beschreibung des MIDI-Bausystems. Schwierigkeiten bereitet hier allerdings die Aufbereitung des entsprechenden Wissens in einer Art und Weise, daß es vom Computer weiter verarbeitet werden kann.

Dieses Wissen könnte beispielsweise in Regeln umgesetzt werden, die gegen konkrete Bausituationen abgeglichen werden. Hiermit könnten konkrete Entwürfe auf ihre MIDI-Tauglichkeit hin überprüft werden. Diese Regeln könnten aber ebenfalls dazu genutzt werden, direkt Planungsvorschläge in einem begrenzten Rahmen zu treffen. Eine weitere Möglichkeit wäre, MIDI-Planungen als fertige Musterplanungen direkt im Form von Bildern in der Datenbank abzulegen und sie dann in passenden Situationen dem Benutzer anzubieten. Dieser kann sich entscheiden, ob er den entsprechenden Planungsvorschlag annimmt oder nicht.

6.2 Wissensakquisition

Die Wissensgewinnung ist für alle Wissensarten eine sehr aufwendige und schwierige Angelegenheit. Gründe hierfür sind:

1. eine hohe Komplexität und Widersprüchlichkeit des von den verschiedenen Quellen in den Anwendungsgebieten erhobenen Wissens;
2. die "kreative" Denkweise der Architekten, die häufig einer formalen, eingrenzenden Formulierung von Problemen widerspricht;
3. eine bisher noch rudimentäre Computerunterstützung im architektonischen Entwurfsbereich.

Wie schon in Kapitel 2 beschrieben, hat der Architektorentwurf gewisse Eigenheiten. Jedes Gebäude wird in der Regel nur einmal gebaut (one-of-a-kind). Lösungen, die für ein Gebäude sinnvoll sind, taugen häufig für andere Gebäude nicht. Dies spiegelt sich auch in der Wissensgewinnung wieder, für die es sehr schwer ist, überhaupt eindeutiges und dazu noch allgemeingültiges Wissen zu extrahieren. Nur für spezielle Gebäudetypen oder für einzelne Komponenten eines Gebäudes scheint dies möglich sein. Zudem werden im Architekturbereich sehr viele Entscheidungen intuitiv und spontan getroffen, ohne daß sie formal begründbar sind. Solche Entscheidungen

in formale Kriterien zu übersetzen, erfordert sehr viel Geschick und gegenseitiges Verständnis, ein hohes Maß an Intuition und zwischenmenschlicher Kommunikation.

6.3 Problemlösungsverfahren

Geht man nun davon aus, daß Wissen aus dem Entwurfsbereich extrahiert wurde, so stellt sich die Frage, welche Art von Problemen mit diesem Wissen gelöst werden kann.

Generell können drei Problemlösungsklassen unterschieden werden: Diagnostik, Konstruktion und Simulation.

Diagnostik: In diagnostischen Problemlösungsverfahren wird versucht, die Ursachen für Fehlerzustände zu ermitteln. Diese Verfahren könnten beispielsweise in der Architektur eingesetzt werden, um die Ursachen für Konflikte oder Konsistenzverletzungen zu ermitteln.

Konstruktion: Bei Konstruktionsverfahren wird davon ausgegangen, daß das Wissen dazu eingesetzt wird, einen schrittweisen (konstruktiven) Entwurf durchzuführen. Dies entspricht dem Vorgehen im Architekturbereich, wie es derzeit in der Regel eingesetzt wird. Ein Sonderfall von konstruktiven Problemlösungsverfahren sind mögliche Reparaturen als Folge von Konsistenzverletzungen.

Simulation: Mit Verfahren zur Simulation können im Architekturbereich automatisch potentielle Standardlösungen gleichzeitig auf eine relativ schnelle Art und Weise auf ihre Eignung für das vorliegende Entwurfsproblem überprüft werden. Der Architekt könnte diese Daten dann mit als Entscheidungshilfe für seine nächsten Schritte benutzen.

6.4 Wissensrepräsentation

Die Wissensrepräsentation beschäftigt sich mit der Art und Weise, wie das extrahierte Wissen sinnvoll dargestellt werden kann, um für verschiedene Inferenzmechanismen verarbeitbar zu sein. Die natürliche Sichtweise des Architekten ist objektorientiert. Entsprechend eignet sich eine Repräsentation der Daten durch einen objektorientierten Formalismus. Ergänzen läßt sich ein solcher Formalismus um allgemeine Regeln und Bedingungen wie z.B. die Einhaltung einer bestimmten Türhöhe. Diese Bedingungen stellen sich für den Architekten in einer deklarativen Art und Weise dar. Regeln können – wenn auch nur sehr begrenzt – auch das Vorgehen des Architekten erfassen. Die Gedankenwelt des Architekten ist eher assoziativ bzw. deklarativ, nicht jedoch prozedural organisiert. Assoziativ bedeutet hierbei, daß der Architekt in einer Planungssituation eine bestimmte Vorstellung hat, die beispielsweise auf Analogieschlüssen beruht, ohne daß er diese Analogieschlüsse bewußt nachvollzieht.

Eine dem Architekten angepaßte Wissensrepräsentation sollte dementsprechend objektorientiert und, soweit möglich, deklarativ sein. An Stellen, an denen deklarative Beschreibungen der Bedingungen nicht mehr möglich sind, muß es möglich sein, diese prozedural in das Gesamtsystem einzubringen.

7 Schematische Systemarchitektur

Bis hierher wurde eine Einführung und ein Überblick über den Gebäudeentwurfsprozeß gegeben. Insbesondere wurden dabei die Charakteristika des Entwurfprozesses und des Planens im A4-Raum vorgestellt, sowie die speziellen Anforderungen an die Wissensverarbeitung im Entwurfsprozeß dargestellt.

Angestrebt wird nun ein rechnergestütztes System, welches eine adäquate Unterstützung des Planers im A4-Raum gestattet. Abbildung 8 stellt dazu eine grobe Systemarchitektur vor.

Die graphische Oberfläche stellt ein universelles Planungswerkzeug dar, das mit den Fachplanern (FP) zusammenarbeitet. Die Fachplaner ihrerseits kommunizieren über eine gemeinsame Datenhaltungskomponente, die die Zusammenarbeit zwischen ihnen regelt und der integrierten Datenhaltung dient.

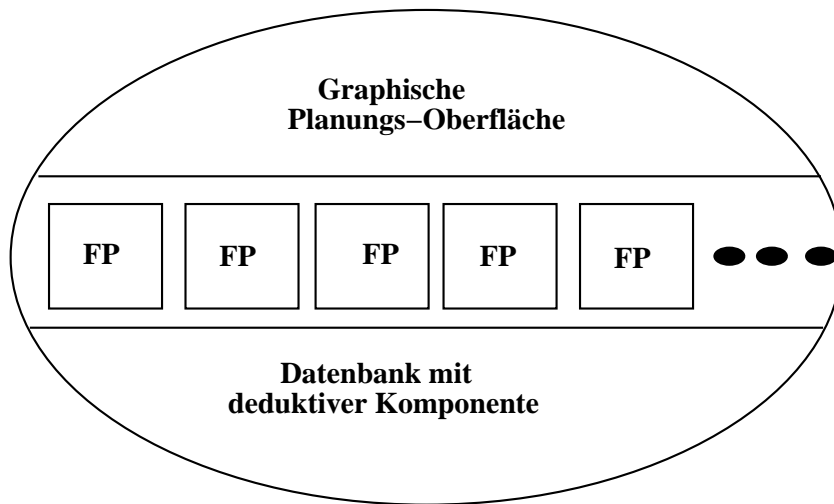


Abbildung 8: Grober schematischer Aufbau eines Gebäudeentwurfssystems

Zur Unterstützung der vielfältigen Anforderungen bezüglich der Repräsentation von Wissen im Entwurfsbereich soll in die Datenbank eine deduktive Komponente integriert werden. Ausgehend von dieser grundsätzlichen Entscheidung, die sich schon in der Systemarchitektur widerspiegelt, werden nun in den nachfolgenden Kapiteln die Anforderungen an die Datenhaltungskomponente analysiert.

8 Anforderungen an die Datenbank

Dieses Kapitel beschreibt die aus den vorhergehenden Kapiteln resultierenden Anforderungen an eine Datenhaltungskomponente. Die Datenbank soll dazu dienen, die gesamten Entwurfsdaten eines Entwurfsprozesses integriert zu verwalten. Aufgrund der Strukturen, die im Entwurfsbereich sehr komplex aufgebaut sein können, und der typischerweise objektorientierten Denkweise von Planern im Gebäudeplanungsprozeß liegt es nahe, ein objektorientiertes Datenbanksystem zugrunde zu legen. Bei dieser Anforderungsanalyse wird auch darauf eingegangen, welche Forderungen schwerpunktmäßig in unserem Projekt bearbeitet und welche zukünftigen Arbeiten überlassen bleiben sollen.

8.1 Entwurfsablauf

Die Arbeitsweise in der Bauplanung läßt sich anhand eines Phasenmodells, wie es in der HOAI festgelegt ist, beschreiben. Als Ergebnis der Phasen sind bestimmte Dokumente und Entscheidungen festgelegt, wie z.B. die Pläne und Dokumente, die bei der Einreichung der Baugenehmigung erforderlich sind. Innerhalb dieser Phasen wollen wir vor allem die sogenannte "integrale" Planung unterstützen, in der interdisziplinäre Planungsteams das Gesamtgebäude optimiert planen wollen.

Für die Entwurfsdatenverwaltung ist es von Interesse, solche Phasen und Entwurfsvorgehensweisen zu kennen. Erst dadurch wird es möglich, auf die Abhängigkeiten und Konsistenzanforderungen an Daten zu schließen und diese durch das Datenbanksystem zu unterstützen. Hierzu sollen, ausgehend von einem Vorgehensmodell für den Entwurf, die Abhängigkeiten der Entwurfsdaten aufgrund ihrer zeitlichen und kausalen Entwicklung modelliert und durch entsprechende Datenbankmechanismen gewährleistet werden.

8.2 Modellierung

Für den A4-Raum muß eine adäquate Modellierung gefunden werden, die den Architekten in seinen Ausdrucksmöglichkeiten nicht einschränkt. Der A4-Raum ist zur Unterstützung des Architekten als Basis von Entwurfsentscheidungen so allgemein gefaßt und auf das wesentliche beschränkt, daß er einen zentralen Kern zur Integration von Fachplanersichten auf die Entwurfsdaten bildet. ER stellt demzufolge eine mögliche Vorgabe eines Entwurfsmodells dar, das jedoch abhängig von der jeweiligen konkreten Entwurfsumgebung um andere Dimensionen erweiterbar sein muß. Bei der Modellierung ist auf diese Erweiterbarkeit zu achten.

8.3 Navigation

Der Entwurf auf dem A4-Raum erfolgt mittels eines Graphikwerkzeugs, welches dem Planer eine Schnittstelle zur Arbeit im A4-Raum anbietet. Im Laufe des Entwurfes werden Instanzen des Containerkonzeptes erzeugt, welche dann in der Datenbank verwaltet werden. Um entsprechend schnell auf die Daten wieder zugreifen zu können, ist deshalb eine adäquate Unterstützung der Navigation im A4-Raum notwendig.

8.3.1 Navigationsarten

Die Navigation in der Datenbank folgt wie früher besprochen, verschiedenen Zugriffsarten:

1. Zugriff auf eine Menge von Containern, die über die entsprechenden Dimensionswerte spezifiziert sind. Beispiel ist ein Maßstabssprung, bei dem die Container, die die Möblierung beschreiben, in einer anderen Größenordnung aus der Datenbank geholt werden.
2. Zugriff auf die Umgebung einer Containermenge. Beispiel ist das Beschaffen anderer Alternativen eines Entwurfsobjektes. (Nachbarschaftsbeziehung über die Dimension Alternative. Was Nachbarschaftsbeziehungen auf den einzelnen Achsen bedeuten, ist in Kapitel 3.6 beschrieben.)
3. Zugriff auf einzelne Container.

Dabei ist sicherzustellen, daß eine für den Architekten akzeptable Zugriffszeit auf die Instanzen des A4-Raumes erreicht wird.

8.3.2 Benötigte Funktionen

Container werden eingefügt, ausgewählt, modifiziert oder gelöscht. Um diese Funktionalität dem Architekten zur Verfügung zu stellen, werden die nachfolgenden Grundfunktionen benötigt.

insert: Die Insert-Funktion dient zur Eingabe der Containerdaten in die Datenbank. Hierbei sind zum einen explizite Aufrufe zu unterstützen, zum anderen sind implizite Aufrufe vorzusehen, die z.B. bei Sicherungspunkten verwendet werden.

delete: Es muß möglich sein, direkt einzelne Container wie auch ganze Containermengen zu löschen, z.B. nach Rücksetzen auf einen alten Zustand.

select: Die oben angesprochenen Funktionalitäten des Navigierens erfüllt select.

scan: Entsprechend der in Kapitel 3.6 spezifizierten Nachbarschaftsbeziehungen unterstützt scan als spezielle Form des select die Anfragen nach den Nachbarn auf einer (oder mehreren) spezifizierten Dimension(en).

8.3.3 Situation

Bestimmte Entwurfssituationen oder auch Snapshots eines Entwurfs zeichnen sich durch besondere Relevanz aus. Die Festlegung einer Situation erfolgt benutzergesteuert durch die Angabe der zu einer Situation gehörenden Container. Es muß möglich sein, relativ schnell genau eine bestimmte Situation wieder auf der Oberfläche verfügbar zu haben. Entsprechend ist die Verwaltung von Situationen in der Datenbank vorzusehen.

8.3.4 Navigatorobjekt

Ein Architekt kann Anfragen konservieren, deren Auswertung einen bestimmten Ausschnitt auf die Entwurfsinformation ergibt, um sie wiederholt abrufen und ausführen zu können. Diese Anfragen werden Navigatoren genannt.

8.4 Alternativen

Zur Erfassung von Entwurfalternativen ist im A4-Raum die Dimension "Alternative" vorgesehen. Wie bereits in 4.3.7 erwähnt, erfolgt die Organisation der Alternativen durch den Benutzer: Ein Architekt kann hier anhand der Vergabe einer Alternativenbezeichnung spezifizieren, um welche Alternative es sich handelt. Ist keine solche Bezeichnung angegeben, so wird automatisch von einer Hauptlinie ausgegangen. In den Anfragefunktionen wird die Dimension Alternative lediglich mit einem Wertebereich Text als diskrete Achse behandelt. Die Behandlung zusätzlicher Semantik ist der Anwendung (bzw. dem Benutzer) überlassen.

8.5 Historie

Zuätzlich zu der Verwaltung verschiedener Alternativen ist es, zum Erfassen der Nichtlinearität des architektonischen Entwurfes, notwendig, einen Entwurf in beliebigen Ausschnitten auf einen (beliebigen) früheren Planungszeitpunkt rücksetzen zu können. Aufgrund der Arbeitsweise der Architekten ist hier ein sehr feingranularer Rücksetzmechanismus notwendig. Um den Entwerfer bei dieser feingranularen Rücksetzmöglichkeit zu unterstützen, muß es möglich sein, für einen bestimmten Bereich zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Vergangenheit zurückzuspringen, die zu diesem Zeitpunkt herrschende Situation zu analysieren und anschließend solange auf der Zeitachse weiter zu navigieren, bis der gesuchte zeitliche Ausschnitt aus dem Entwurf gefunden wurde.

8.6 Integration der Fachplaner

Nach Kapitel 7 ist ein Ziel des Projektes die Entwicklung und Erprobung eines Konzeptes zur Fachplanerintegration. Ein besonderes Problem stellt sich hier dadurch, daß die Fachplaner sehr unterschiedliche Voraussetzungen mitbringen. Die Fachplaner, die zu Beginn der Planung eingesetzt werden, zeichnen sich durch noch sehr vage Strukturen aus. Je weiter der Entwurf

fortschreitet, umso konkreter werden die Strukturen, die in den dann benutzten Fachplanern benötigt werden. Trotzdem ist es notwendig, daß die unterschiedlichen Fachplaner auf Teile der Daten anderer Fachplaner zugreifen können und daß Konflikte zwischen ihnen frühzeitig automatisch vom System erkannt werden. Vor allem diese letzte Anforderung ist eine wesentliche Voraussetzung dafür, dem Ziel der Integralen Planung ([22]) näher zu kommen. An diesem Punkt ist eine adäquate Repräsentation der Fachplanermodelle notwendig, um gemeinsame Objekte darstellen zu können; zudem werden Mechanismen zur Überprüfung der Bedingungen benötigt, die die entsprechenden Konflikte erkennen.

Das Integrationskonzept für Fachplaner sollte auch dazu geeignet sein, nicht nur Fachplaner zu integrieren, die speziell für das entstehende System geschrieben wurden, sondern auch Fachplaner aus anderen Entwurfssystemen zu berücksichtigen.

8.7 Transaktionskonzept und Kooperation

Der Vorgang der rechnergestützten Gebäudeplanung weist die typischen aus anderen Entwurfsbereichen bekannten Probleme für die Transaktionsverwaltung und die Unterstützung von kooperierenden Entwerfern auf. Insbesondere sind die üblichen Transaktionen mit dem ACID-Paradigma nicht ausreichend.

Erst zum Abschluß des Entwurfsvorgangs liegt ein konsistenter Zustand in Form eines Planungsergebnisses vor. Da der Entwurfsvorgang sich selbst über längere Zeit erstreckt, sind jedoch Vorkehrungen zu treffen, um auf frühere Entwurfszustände zurücksetzen zu können, sei es bei Fehlerfällen oder sei es, um die im Entwurfsbereich übliche trial-and-error Arbeitsweise beim Entwurf zu unterstützen und benutzergesteuert auf eine andere Entwurfsversion zurückzusetzen. Durch die Konzepte der Historien und der Situationen sind für den Benutzer die entsprechenden Funktionalitäten gegeben.

Beim Bauen sind in der Regel viele verschiedene Entwerfer und Fachplaner beteiligt. Diese arbeiten zeitweise mit denselben Planungsdaten, sodaß es zu vielen Zugriffs- und Änderungskonflikten kommen wird, deren Auflösung durch das Entwurfssystem und soweit möglich durch das Datenhaltungssystem unterstützt werden sollten. Über die automatische Konfliktauflösung z.B. durch die Verwendung von benutzerspezifischen Versionen sind auch Benachrichtigungen der menschlichen Entwerfer und entsprechende Kooperationsprotokolle denkbar.

8.8 Constraints

Wie in Abschnitt 4.9 diskutiert, spielen für die Gestaltungsspielräume des Planers Constraints eine wichtige Rolle. Ähnlich Konsistenzbedingungen sollten sie durch die Datenbank überprüft und gegebenenfalls ihre Einhaltung überwacht werden. Ungleich Konsistenzbedingungen sollen sie jedoch nicht an das Transaktionskonzept gebunden werden. Sie sind nämlich nicht in allen Phasen des Entwurfs gültig, sondern können auch zu- oder abgeschaltet werden. Während des Entwurfsvorgangs selbst muß es möglich sein, neue Bedingungen zu definieren.

Das Constraintmanagement bildet ein zentrales Thema unseres Projektes. Wir wollen hierbei eine flexible Constraintverwaltungskomponente in ein objektorientiertes Datenbanksystem integrieren.

Beispiele für Constraints sind:

1. Normen, die ein Gebäude erfüllen muß
2. Fachplanerspezifische Bedingungen
3. Interfachplanerbedingungen
4. Vorgaben vom Bauherrn

5. Entwurfsbedingungen

6. Kardinalitäten des Schemas

Normen sind Bedingungen, die durch den Gesetzgeber vorgegeben sind, wie z.B. Sicherheitsvorschriften. Sie betreffen alle Teile des Gebäudes. Fachplanerspezifische Bedingungen beschreiben Vorgaben, wie sie z.B. in MIDI vorliegen. Interfachplanerbedingungen regeln die gegenseitigen Abhängigkeiten und damit indirekt die Zusammenarbeit zwischen unterschiedlichen Fachplanern.

Entwurfsbedingungen können zwei verschiedene Arten von Bedingungen beschreiben. Zum einen sind hierunter Beziehungen zu verstehen, die ein Entwerfer im Laufe des Entwurfes festlegt, wie beispielsweise, daß im folgenden immer bestimmte Räume benachbart sein sollen. Zum anderen verstehen wir unter Entwurfsbedingungen auch solche Beziehungen wie das Zusammenspiel von Containern, die dasselbe reale Objekt beschreiben aber unterschiedliche Darstellungen besitzen. Ein Beispiel ist das Zusammenspiel von Containern, die einmal als Hülle und ein anderes Mal als Zone dargestellt sind.

Die Formulierung von Constraints umfaßt einen sehr weiten Bereich von sehr vage bis präzise und von sehr einfachen bis zu sehr komplexen Bedingungen.

1. Eine präzise Bedingung wäre, daß eine Stütze nur ein Vielfaches einer bestimmten Maßeinheit lang sein darf. Hierbei handelt es sich um eine relativ einfach zu überwachende und zu formulierende Bedingung, sehr viel komplizierter wird es beispielsweise für Berechnungsvorschriften für das akustische Verhalten eines Raumes.
2. Dagegen sind die Bedingungen, daß ein Raum eine ungefähre bestimmte Größe haben muß,
3. oder daß ein Raum immer nach Süden ausgerichtet sein sollte, von vager Natur.

Da die Formulierung der z.T. sehr komplexen Bedingungen für den Systembenutzer, etwa den Architekten, möglich sein muß, resultiert hieraus die Forderung nach einer adäquaten Formulierungssprache.

Eine für den Architekturbereich typische Anforderung ist die partielle Gültigkeit von Constraints. Die unterschiedlichen Bereiche eines Gebäudes sind zu verschiedenen Zeitpunkten unterschiedlich detailliert geplant. So kann beispielsweise das Erdgeschoß schon sehr viel weiter in der Planung sein als das zweite Geschoß. Im Erdgeschoß werden deshalb schon Constraints betrachtet, die die Klimaleitungen innerhalb des Stockwerkes betrachten, während diese im zweiten Geschoß diese Constraints noch gar nicht aktiviert sind. Dies hat Rückwirkung auf den Umgang mit Constraints: Dasselbe Constraint spielt in den unterschiedlichen Bereichen unterschiedliche Rollen. So muß es beispielsweise im ersten Stockwerk erfüllt sein, im zweiten wird seine Inkonsistenz toleriert. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn im ersten Stock die Planung der Wasserleitungen schon abgeschlossen ist, im zweiten aber gerade erst damit begonnen wird. Hier müssen die Constraints, die die Wasserleitungen betreffen im ersten Stock erfüllt sein. Im zweiten Stock ist dies nicht möglich, entsprechende Inkonsistenzen müssen toleriert werden. Auch können dieselben Objekte in unterschiedlichen Bereichen durch unterschiedliche Mengen von Constraints beschrieben sein, da zum einen Constraints im Laufe des Entwurfes hinzukommen und die Planung unterschiedlichen Bereiche unterschiedlich weit fortgeschritten ist und zum anderen durch den Entwerfer für gleiche Objekte auch durchaus unterschiedliche Constraints gefordert werden können.

Das Festlegen von Constraints und deren Gültigkeit erfolgt dynamisch und ist durch die Arbeitsweise der Architekten bestimmt. Aufgrund der Nichtlinearität des architektonischen Planungsvorgang können keine Vorhersagen über die Bereiche, in denen der Architekt im nächsten Arbeitsschritt weiterarbeiten wird, gemacht werden. In solchen Umgebungen definiert er in

scheinbar willkürlicher Art Bedingungen, die entweder einzelne Planungsentscheidungen, eine Gruppe von Entwurfsobjekten oder aber einen ganzen Abschnitt bzw. den gesamten Plan einschränken. Diese Bedingungen sind ein natürlicher Bestandteil eines Entwurfes. Genauso wie diese Bedingungen festgelegt werden, sollen sie auch wieder entfernt werden können. Da sich auf diese Weise die Menge der zu beachtenden Constraints zeitlich entwickelt und verändert, haben auch Rücksetzschrötte der Architekten zu beliebigen Punkten in der Vergangenheit Auswirkungen auf die zu betrachtenden Constraints. Die hieraus resultierende Dynamik im architektonischen Entwurfsprozeß ist eine große Herausforderung für eine Constraintüberwachungskomponente.

Vorallem zur Unterstützung der Fachplanerintegration ist es sehr wichtig, die Möglichkeit zu haben, wiederum in beliebigen Ausschnitten vordefinierte Mengen von Konsistenbedingungen zuzuschalten. Diese müssen dann bis auf weiteres (bis zu ihrer expliziten Deaktivierung) mit überprüft werden.

Spielräume bestehen auch bei dem Zeitpunkt der Reaktion auf Verstöße gegen Constraints. Es muß die Möglichkeit geben, auf diese Verstöße flexibel zu reagieren. So existieren intolerierbare Verstöße, die augenblicklich zu beheben sind. Hat beispielsweise eine Abwasserleitung nicht das notwendige Gefälle, so ist ein Weiterplanen nicht sinnvoll, da die Grundlage für die Weiterplanung falsch ist. Bei eher vagen Constraints wie die Anforderung, daß das Bad neben dem Schlafzimmer liegen sollte, ist die Reaktion auf die Verletzung von den jeweiligen Bauherren abhängig. Im einen Fall will der Architekt, daß eine solche Verletzung unmittelbar gemeldet und repariert wird, im anderen Fall möchte er nur über die Verletzung informiert werden, und die Planung wird trotzdem weitergeführt.

Die Reaktion auf ein und denselben Verstoß kann umfeldbedingt auch unterschiedlich ausfallen, etwa wenn Constraints im Laufe eines Entwurfes ihre Bedeutung in Bezug auf den Entwurf ändern. Beispielsweise hat zu Beginn der Planung der Innenausstattung der Architekt die Idee, mindestens 20 Sitzplätze in einer Kommunikationszone vorzusehen. Es ist ihm zu diesem Zeitpunkt aber noch nicht wichtig, daß diese Bedingung eingehalten wird. Erst im Laufe der Zeit erhärtet sich die Anforderung und muß ab einem bestimmten Zeitpunkt immer eingehalten werden.

8.9 Unterschiedliche Begriffswelten

Wie es charakteristisch ist für Systeme, die Schnittstellen zu menschlichen Benutzern anbieten, muß auch in der Gebäudeplanung berücksichtigt werden, daß Architekten unterschiedliche eigene Begriffswelten benutzen. Um ihnen dementsprechend ein komfortables Arbeiten zu ermöglichen, sind Mechanismen zu finden, die die architekturenspezifische Begriffswelt verwalten und es ermöglichen, daß ein Architekt in seiner Begriffswelt mit anderen Entwerfern in deren Begriffswelt und dem Gesamtsystem zusammenarbeiten kann. Dieses Problem tritt in der gleichen Art und Weise auch bei der Integration der Fachplaner auf.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Studie hat das Ziel, den architektonischen Entwurfsprozeß zu beschreiben und auf seine Anforderungen hinsichtlich einer integrierenden Datenhaltung zu analysieren.

Zu Beginn stand hierbei eine allgemeine Charakterisierung, die den Planungsvorgang durch seine Nichtlinearität, Individualität und Vielschichtigkeit beschreibt. Für den Ablauf des Planungsvorganges stellt die Honorarordnung für Architekten eine Vorgangsbeschreibung dar, die Meilensteine innerhalb des Entwurfes und des Bauens eines Gebäudes erfaßt. Ausgehend von dieser allgemeinen Charakterisierung wird dann die am Institut für industrielle Bauproduktion der Universität Karlsruhe entwickelte Planungsmethodik des A4-Raumes vorgestellt. Diese erlaubt die Beschreibung aller Entwurfsentscheidungen durch eine einheitliche Menge von Dimensionsattributen im n-dimensionalen Entwurfsraum (A4-Raum) und ermöglicht so das integrierte Arbeiten mit verschiedenen, in den Entwurf involvierten Fachplanern. Aufbauend auf dieser Grundlage einer Gebäudeentwurfsmethodik wurden dann Anforderungen an eine Datenbankunterstützung extrahiert.

Die Ergebnisse dieser Anforderungsanalyse einer geeigneten Datenbankunterstützung für den integrierten Gebäudeentwurfsprozeß ist Basis für unsere Arbeiten im Rahmen des ArchE-Projektes. Schwerpunkte unseres Projektes liegen von seiten der Datenhaltung auf zwei Bereichen: zum einen auf der Modellierungsmethodik, die gerade diesen neuen Ansatz einer integrierenden Entwurfsoberfläche auf der Basis des A4-Raums unterstützen will, und zum anderen auf einer Constraintkomponente, die die vielfältigen und hochdynamischen Zwangsbedingungen im architektonischen Entwurfsbereich im Rahmen eines Datenbanksystems erfassen will.

Literatur

- [1] *midi 1000, Tragwerk Planungsgrundlagen*. USM baustysteme Haller.
- [2] HOAI: Verordnung über die Honorare für Leistungen der Architekten und Ingenieure in der Fassung der vierten Änderungs-VO, Stand 1.1.1991. Düsseldorf, 1991.
- [3] ANSI. *Industrial automation systems – Product data representation and exchange – Part 11: Description methods: The Express language reference manual*. ISO/TC 194/SC 4. 1992.
- [4] ANSI. *Industrial automation systems – Product data representation and exchange – Part 21: Implementation methods: Clear text encoding of the exchange structure*. 1993.
- [5] P.R. Banham. *The Architecture of the Well-tempered Environment*. 1969. Deutsche Übersetzung in Arch+, 1988.
- [6] A. Drach. *Flexible Werkzeuge für die Integrierte Gebäudeplanung*. Dissertation, Universität Karlsruhe, 1994.
- [7] A. Drach, J. Gauchel, and L. Hovestadt. *Ein intelligentes Planungswerkzeug für die Verlegung haustechnischer Leitungen in hochinstallierten Gebäuden*, volume 861.5 of *VDI-Berichte*. VDI, 1990.
- [8] A. Drach, M. Langenegger, and S. Heitz. Flexible environments for integrated building design. In *CAD'92 - Neue Konzepte zur Realisierung anwendungsorientierter CAD-Systeme*, Berlin, 1992. GI-Fachtagung, Krause et al.
- [9] F. Haller. *Armilla – ein Installationsmodell*. Institut für Industrielle Bauproduktion, Universität Karlsruhe, 1985.
- [10] L. Hovestadt. A4 - a model for an extensive use of computers in architecture. In *Proceedings of the Second International Workshop on Computer Building Representation for Integration*, Aix-les-Bains, 1991.
- [11] L. Hovestadt. *A4 - Digitales Bauen - Ein Modell für die weitgehende Computerunterstützung von Entwurf, Konstruktion und Betrieb von Gebäuden*. Fortschrittsberichte VDI, Reihe 20 Rechnerunterstützte Verfahren Bd. 120, Düsseldorf, Dissertation, Institut für Industrielle Bauproduktion, Universität Karlsruhe, 1994.
- [12] V. Hovestadt. *Zeitraumplanung - Entwurf von Instrumenten und Darstellungstechniken für das Planen in Zeiträumen*. Master's thesis, RWTH Aachen, Lehrstuhl für Konstruktives Entwerfen, 1992.
- [13] IAP. *Software für den Architekturbereich, AVA, 1993/1994*, volume 1. Institut für Architektur und Planungstheorie, Hannover, 1993.
- [14] IAP. *Software für den Architekturbereich, CAD, 1993/1994*, volume 2. Institut für Architektur und Planungstheorie, Hannover, 1993.
- [15] G. Knabe. *Gebäudeautomation*. München, 1992.
- [16] H. R. Kranz, editor. *Building Control, Technische Gebäudesysteme; Automation und Bewirtschaftung*. expert verlag, Stuttgart, 1994.
- [17] ORBIT2. *The orbit2 study (dewg/eosys)*. London, 1985.

- [18] M. Pawley. Theory and design in second machine age. 1990.
- [19] F.W. Payne, editor. *Strategies for Energy Efficient Plants and Intelligent Plants and Intelligent Buildings*. 1989.
- [20] P. Richter. *Entwicklung einer integrierten Informationsstruktur für relationale Datenbanken im Bauwesen*. PhD thesis, Gesamthochschule Kassel, 1988.
- [21] SC4/WG3/T12. *AP 225: Structural building elements using explicit shape representation. Draft Proposal presented at the meeting of ISO TC184/SC4, Berlin, Germany*. 1993.
- [22] P. Suter, R. Gfeller, N. Kohler, and J. van Glist. *Haustechnik in der Integralen Planung*. In *Impulsprogramm Haustechnik 1986*. Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern, 1986.
- [23] J. Worthington. *Building intelligence - a global perspective*. In J. Gauchel, editor, *1. Intelligent Buildings Symposium*, Universität Karlsruhe, 1989.